ТКА

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ



25 лет

1 2002

ЯНВАРЬ — ФЕВРАЛЬ

3-я МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

21–24 мая 2002 года Украина, г. Одесса

ПРОБЛЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- ✓ Техническая и инвестиционная политика в области разработки и производства электронных средств
- ✓ Телекоммуникационные технологии. Преобразование и обработка информации
- ✓ Информационные и компьютерные технологии в электронике
- ✓ Информационные технологии дистанционных исследований (в т. ч. аэрокосмические исследования, локационные системы и средства)
- ✓ Информационные и измерительные преобразователи и системы
- ✓ Математическое моделирование. САПР. Специальные технологии обработки информации
- ✓ Конструирование электронных элементов и аппаратов, обеспечение качества и надежности
- ✓ Функциональная электроника. Опотоэлектроника. Наноэлектроника
- ✓ Технология производства электронных элементов и аппаратов (в т. ч. поверхностный монтаж, специальное оборудование)
- ✓ Материалы электронной техники (в т. ч. диагностика материалов и изделий)

Информация о конференции на web-сайте
tkea.wallst.ru



Адрес Оргкомитета"СИЭТ-2002":
Украина, 65044, Одесса-44, пр. Шевченко, 1, ОНПУ,
Ин-т радиоэлектроники и телекоммуникаций.

Ученый секретарь конференции Щербакова Галина Юрьевна
Тел. (0482) 28-85-42

Секретарь Оргкомитета Тихонова Елена Анатольевна
Тел./факс (048)733-67-91, тел. (048)733-72-83
E-mail: tkea@odessa.net

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ»

В 2001 году журнал поддерживали:

г. Киев
ОАО «Квазар»,
НПП «Сатурн»,
НТЦ ССЭТ «Элси»

г. Львов
НПП «Карат»

г. Одесса
Академия связи Украины,
НИИ телевизионной техники,
НИИ «Шторм»,
Одесский нац. политехнический университет,
Одесская гос. морская академия,
Одесская гос. академия холода,
СКБ «Молния»,
Украинская нац. академия связи им. А. С. Попова

г. Харьков
АО НИИРИ

г. Черновцы
ЦКБ «Ритм»

КОРРЕСПОНДЕНТСКИЕ ПУНКТЫ

Украина, 04136, **Киев**-136, ул. Северо-Сырецкая, 3. НТЦ ССЭТ.
Тел.(044) 442-95-47, 442-93-42. Факс (044) 442-94-53.

Украина, 79031, **Львов**-31, ул. Стрыйська, 202. НВП «Карат».
Тел./факс (0322) 63-22-28. E-mail: karat@imp.lviv.ua (Для ТКЭА)

Республика Беларусь, 220027, **Минск**, ул. П. Бровки, 6.
БГУИР, каф. микроэлектроники.
Тел./факс (0172)31-39-08. E-mail: cit@micro.rei.minsk.by (Для ТКЭА)

Редакция: *А. А. Ефименко, Е. Н. Курдюкова, Л. М. Лейдерман, А. Н. Онищенко, Е. А. Тихонова.*
Компьютерное обеспечение: *В. Ю. Ткаченко.*
Художественная, техническая редакция: *Е. И. Корецкая.*

Подписано к печати 30.01 2002 г. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 700 экз.
Оригинал-макет изготовлен в ДП «Нептун-Технология» (65028, г. Одесса, ул. Б. Хмельницкого, 59).
Отпечатано в типографии издательства «ТЭС» (65012, г. Одесса, ул. Канатная, 81/2).

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учредитель АО "Нептун"

(Министерство промышленной политики Украины)

2002 Год издания 26-й № 1

Год регистрации 1992

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д. т. н. В. А. Арбузников
О. П. Басюк
Д. т. н. А. Л. Вайнер
Д. т. н. Ю. А. Долгов
Д. ф.-м. н. В. А. Дроздов
К. т. н. И. Н. Еримичой,
зам. гл. редактора
К. т. н. А. А. Ефименко,
зам. гл. редактора
Д. ф.-м. н. А. Н. Золотко
К. т. н. В. В. Зубарев
Д. ф.-м. н. Ф. Д. Касимов
Л. М. Лейдерман,
отв. секретарь редакции
Д. т. н. С. В. Ленков, гл. редактор
К. т. н. В. Г. Лукомский
Д. т. н. В. П. Малахов
К. т. н. В. Ф. Моисеев
К. т. н. Ю. Е. Николаенко
Д. ф.-м. н. В. В. Новиков
К. э. н. Е. А. Пархоменко
Д. т. н. Д. А. Сеченов
К. т. н. В. В. Сибиряков
Д. т. н. В. А. Сокол
Д. т. н. Ю. Е. Спокойный
К. т. н. В. Б. Ткаченко,
шеф-редактор
Д. ф.-м. н. Т. С. Шишияну
Д. ф.-м. н. О. И. Шпотюк

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 71141

АДРЕС РЕДАКЦИИ
Украина, 65028, Одесса-28,
ул. Б. Хмельницкого, 59
Тел. (+38-048) 733-67-91
Тел./факс (+38-048) 733-72-83
E-mail: tkea@odessa.net
Web-сайт: tkea.wallst.ru

Регистрационный номер
КВ 2092 от 07.06.96 г.

Регистрация в ВАК:
Бюллетень ВАК Украины,
1999, № 4

Журнал издается при поддержке СКБ «Молния» (г. Одесса) и других предприятий и организаций

СОДЕРЖАНИЕ

Техническая политика
Бортовые радиотехнические средства ближней навигации и инструментальной посадки летательных аппаратов. *В. И. Кондрашов, В. И. Федоренко* 3
Проектирование. Конструирование
Контролепригодная схема двоичного сумматора с повышенным быстродействием. *А. И. Тимошкин* 10
Система автоматизированного выбора покрытий. *А. А. Ефименко, В. В. Симонов, О. В. Николаенко, А. Н. Дончило* 14
Электронная аппаратура: исследования, разработки
Реализация алгоритмов первичной обработки сигналов в системах пассивной звуковой локации. *В. А. Тарасов, Д. А. Кропачев* 17
Акустооптическое устройство спектрального разуплотнения данных для оптических вычислительных средств. *В. В. Данилов* 22
Автоматизация структурных преобразований схемы цифрового фильтра. *В. С. Ситников, П. В. Ступень, И. Л. Куцак* 28
Биомедицинская электроника
Устройства контроля уровня бодрствования водителя. *Д. И. Левинзон, Г. А. Чаусовский, Р. В. Головаха* 32
Обеспечение тепловых режимов аппаратуры
Автоматизированное проектирование центральной системы контроля холодильной камеры. *Дж. Ф. Мамедов, Г. М. Мансуров, Х. М. Ахмедова* 35
Разомкнутая система охлаждения мощного транзистора с использованием плавящихся веществ. *А. И. Шапиро, Т. Ю. Николаенко* 37
Технология производства
Диагностика полупроводниковых структур при разработке и производстве изделий микроэлектроники. *Л. Д. Буйко, В. Н. Пономарь, А. А. Солонинко* 40
Опыт совершенствования толстопленочной технологии. *Л. И. Панов, Р. Г. Сидорец* 43
Датчики
Микроэлектронные индуктивные балансные сенсоры с катушками квадратной и треугольной формы. *О. Н. Негоденко, С. Г. Кошелев, В. И. Семенцов, Ю. П. Мардамшин* 47
Имитатор сигналов роторного машинного оборудования. *Э. А. Дмитриев, С. В. Емельянов, Я. В. Деревягин* 49
Материалы электроники
Негатронные элементы на основе локальных пленок поликристаллического кремния. *Ф. Д. Касимов, М. Р. Рагимов* 53
Математическое и программное обеспечение исследования электропроводности толстопленочных резисторов. *А. В. Стерхова, В. Е. Лялин* 57
Выставки. Конференции. Симпозиумы 13, 21, 31, 52, 56, с. 4 обл.
Библиография
Указатель статей, опубликованных в журнале в 2001 г. 61
Новые книги 13, 31

© Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2002.

Науково-технічний журнал

ТЕХНОЛОГІЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ

В ЕЛЕКТРОННІЙ АПАРАТУРІ

(російською мовою)

ЗМІСТ

Технічна політика
Бортові радіотехнічні засоби ближньої навігації та інструментальної посадки літальних апаратів. *В. І. Кондрашов, В. М. Федоренко* (3)
Проектування. Конструювання
Контролепридатна схема двійкового суматора з підвищеною швидкодією. *А. І. Тімошкін* (10)
Система автоматизованого вибору покриття. *А. А. Єфіменко, В. В. Сімонов, О. В. Ніколаєнко, О. М. Дончило* (14)
Електронна апаратура: дослідження, розробки
Реалізація алгоритмів первинної обробки сигналів в системах пасивної звукової локації. *В. О. Тарасов, Д. О. Кропачев* (17)
Акустооптичний пристрій спектрального розущільнювання даних для оптичних обчислювальних засобів. *В. В. Данілов* (22)
Автоматизація структурних перетворень схеми цифрового фільтру. *В. С. Сітніков, П. В. Ступень, І. Л. Куцак* (28)
Біомедицинська електроніка
Пристрої контролю рівня засинання водія. *Д. І. Левінзон, Г. О. Чаусовський, Р. В. Головаха* (32)
Забезпечення теплових режимів апаратури
Автоматизоване проектування центральної системи контролю холодильної камери. *Дж. Ф. Мамедов, Г. М. Мансуров, Х. М. Ахмедова* (35)
Розімкнута система охолодження потужного транзистора з використанням речовин, що плавляться. *А. І. Шапіро, Т. Ю. Ніколаєнко* (37)
Технологія виробництва
Діагностика напівпровідникових структур при розробці та виробництві виробів мікроелектроніки. *Л. Д. Буйко, В. М. Пономарь, О. О. Солонинко* (40)
Досвід удосконалювання товстоплівкової технології. *Л. І. Панов, Р. Г. Сидорець* (43)
Датчики
Мікроелектронні індуктивні балансні сенсори з котушками квадратної та трикутної форми. *О. М. Негоденко, С. Г. Кошелєв, В. І. Семенцов, Ю. П. Мардамшин* (47)
Імітатор сигналів роторного машинного устаткування. *Є. О. Дмітрієв, С. В. Ємельянов, Я. В. Дерев'ягін* (49)
Матеріали електроніки
Негатронні елементи на основі локальних плівок полікристалічного кремнію. *Ф. Д. Касімов, М. Р. Рагімов* (53)
Математичне та програмне забезпечення дослідження електропровідності товстоплівкових резисторів. *А. В. Стерхова, В. Є. Лялін* (57)
Бібліографія
Перелік статей, що опубліковані в журналі у 2001 році (61)
Нові книги (13, 31)

CONTENT

The technical policy
On board radio-technical equipment of aircraft near navigation and instrumental landing. *Kondrashov V. I., Fedorenko V. N.* (3)
Designing. Construction
The testable circuit of binary adder with increased speed. *Timoshkin A. I.* (10)
The system of automated choice of coat. *Efimenko A. A., Simonov V. V., Nikolajenko O. V., Donchilo A. N.* (14)
Electronic equipment: investigations, developments
The realization of primary signal processing algorithms in passiv sound ranging systems. *Tarasov V. A., Kropachev D. A.* (17)
The acoustooptical device of the spectrum dismultiplex of data for optical computing aids. *Danilov V. V.* (22)
Automation of digital filter circuit structural transformations. *Sitnikov V. S., Stupen P. V., Kutsak I. L.* (28)
Biomedical electronics
The monitoring devices of level of vigilance of driver. *Levinson D. I., Chausovsky G. A., Golovaha R. V.* (32)
The temperature conditions assurance of equipment
The automation design of central monitoring refrigerating chamber. *Mamedov J. F., Mansurov G. M., Ahmedova Kh. M.* (35)
The released cooling system containing melting substances used for cooling of powerful transistor. *Shapiro A. I., Nikolajenko T. Yu.* (37)
Production technology
The diagnostics of semiconductor structures at development and manufacturing products. *Buiko L. D., Ponomar V. N., Soloninko A. A.* (40)
The experience of improvement of the thick-film technology. *Panov L. I., Sidorets R. G.* (43)
Sensors
The microelectronic inductive balanced sensors with coils of square and triangular shape. *Negodenko O. N., Koshelev S. G., Sementsov V. I., Mardamshin Yu. P.* (47)
The simulator of signals of the rotor machine equipment. *Dmitriev E. A., Emelyanov S. V., Derevyagin Ya. V.* (49)
Materials of electronics
The negatronic elements on the basis of local polycrystalline silicon films. *Kasimov F. D., Ragimov M. R.* (53)
The mathematic simulation and sowftware of investigation of conductivity of thick-film resistors. *Sterhova A. V., Lyalin V. E.* (57)
Bibliography
The articles list that have been published in journal during 2001 (61)
New books (13, 31)

колонка редакции

Журнал "Технология и конструирование в электронной аппаратуре" вступает в 26-й год издания. Позади четверть века работы авторов, рецензентов, членов редакционной коллегии, сотрудников редакции. Впору отмечать юбилей.

Пик активного интереса к журналу приходится на 1987 год (подписной тираж тогда составил 1360 экземпляров). Журнал (тогда еще сборник) пользовался спросом специалистов на все без исключения публикации: такая информация поступала от самых сведущих людей — инженеров-кураторов отделов научно-технической информации промышленных предприятий. Для удобства специалистов некоторые предприятия подписывали до 5—6 экземпляров сборника.

Истекшие пятнадцать лет многое изменили и в структуре радиоэлектронных отраслей промышленности, и в судьбе отдельных предприятий, и в критериях оценки отраслевых изданий.

В последние годы редакция ставила перед собой задачу — не прервать связь времен, сохранить журнал для ученых и специалистов отрасли, выстоять под давлением неласковых обстоятельств. Общими усилиями эту задачу удалось решить: журнал работает и вступает в 26-й год с портфелем статей и с подписчиками.

Редакция поздравляет всех, кто участвовал в рождении, развитии и сохранении журнала, и, конечно же, принимает поздравления и в свой адрес.





колонка редакции

Д. т. н. В. И. КОНДРАШОВ, В. Н. ФЕДОРЕНКО

Украина, г. Киев, Нац. авиационный ун-т, з-д "Радиоизмеритель"
E-mail: avia_kiev@mail.ru

Дата поступления в редакцию
25.10 2001 г.
Оппонент *д. т. н. В. М. ИЛЮШКО*
(НАКУ "ХАИ", г. Харьков)

БОРТОВЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Серийно выпускаемое на Украине бортовое навигационное и посадочное радиооборудование ЛА сопоставляется с лучшими зарубежными образцами аналогичного назначения.

В настоящее время в мире насчитывается более 250 тысяч гражданских самолетов, подавляющее большинство из которых являются потребителями радиотехнических систем ближней навигации и посадки [1, 2]. Основными средствами ближней навигации и посадки для самолетов, регламентированными международной организацией гражданской авиации (ICAO), являются соответствующие угломерные системы, работающие в метровом диапазоне частот: VOR — Very High Freguency Omnidirectional Range, ILS — Instrumental Landig System.

Широкое распространение систем навигации VOR и посадки ILS и наивысшие их характеристики по критерию «стоимость — эффективность» дают основание полагать, что эти системы будут широко эксплуатироваться и впредь. В наибольшей степени этот вывод относится к европейским, азиатским, африканским странам, где введение более дорогостоящего оборудования микроволновой системы посадки MLS затягивается на неопределенный срок, а в аэропортах продолжается установка оборудования ILS. Введение же систем спутниковой навигации NAVSTAR (США) и ГЛОНАС (Россия) как основных радионавигационных средств проблематично [1, 3] ввиду их принципиальных системных особенностей и организационных (в т. ч. межгосударственных) трудностей. В связи с этим VOR остается в настоящее время основной регламентированной системой трассовой навигации.

Серийный выпуск бортового оборудования систем VOR, ILS освоен в США (фирмы Collins, Bendicx King), во Франции (EAS), на Украине (Киевский завод «Радиоизмеритель»). Одним из лидеров в выпуске наземного цифрового оборудования нового поколения являются ФРГ (Sel), а также Россия (НПО «Полет»). Годовая стоимость эксплуатации (для США) системы VOR/DME составляет 37 млн. дол., спутниковой системы навигации Navstar — 250 млн. дол. [4]. Стоимость бортового оборудования систем ILS, VOR/DME, а также микроволновой системы посадки MLS представлена в **табл. 1** (комплектация бортовых приемников: одиночный, сдвоенный, строенный варианты — для различных типов летательных аппаратов).

Таблица 1

Наименование оборудования	Фирма, страна	Стоимость одного приемника
ILS-2300	EAS, Франция	45 тыс. франков
MLS-20	Bendicx, США	12—14 тыс. дол.
VOR	"	10 тыс. дол.
DME	"	10 тыс. дол.
ILS-85	КЗ "Радиоизмеритель", Украина	8 тыс. дол.
VOR-85	То же	7 тыс.дол.

Эксплуатационная точность радиотехнической системы является ее важнейшей характеристикой. При полетах летательных аппаратов (ЛА) принято выделять аппаратную ошибку (АО) и ошибку, обусловленную техникой пилотирования (ОТП). Как показано в [3], для навигационной системы VOR в сочетании с дальномерной системой дециметрового диапазона частот (DME) при полетах на внутренних авиалиниях ОТП, выраженная в величине линейного бокового отклонения, на дальности 46 км составляет величину 2×1,85=3,7 км, а АО — лишь 0,8×1,85≈1,5 км. Отсюда можно заключить, что существующая эксплуатационная АО значительно меньше ОТП, и нет смысла в дальнейшем вкладывать средства для улучшения точности данной радиотехнической системы навигации. Точность существующих систем посадки ILS может отвечать требованиям посадки по III категории ICAO, т. е. полностью удовлетворяет международным требованиям инструментальной посадки ЛА.

Зона действия радиотехнической системы также является важнейшим критерием ее качества. Зона действия навигационных систем VOR/DME определяется радиогоризонтом и при существующем размещении наземного оборудования удовлетворяет радиотехническому обеспечению внутренних авиалиний США и европейских стран [2]. Зона действия систем ILS также удовлетворяет требованиям ICAO.

Таблица 2

	Тип приемника			
	ILS-85 (Украина)	ILS-2300 (Франция)	VOR-85 (Украина)	DVR-2200 (Франция)
	Назначение приемника			
	Выдача информации об угловых отклонениях от траектории посадки — РГМ		Выдача информации об азимуте полета и пролете маркерных маяков — градус	
	Режимы работы			
	ILS/СП-50	ILS	VOR	VOR
	Диапазон частот, МГц			
	—	—	108,0—117,95 (кроме 108,10—111,8)	108,0—117,95 (кроме 108,10—111,8)
Курс	108,0—111,95	108,0—111,95	—	—
Глиссада	328,6—335,4	328,6—335,4	—	—
Маркер	—	—	75	75
	Количество частотных каналов			
	40	40	160	160
	Погрешность определения (2σ)			
Курс, РГМ	0,004	0,004	—	—
Глиссада, РГМ	0,009	0,009	—	—
Навигация, градус	—	—	0,4	0,4
	Чувствительность приемника, мкВ			
Курс	1,5—3,0	2,5	—	—
Глиссада	3,0—6,0	10	—	—
Навигация	—	—	1,5—3,0	2
Маркер	—	—	200—1500	200—1500
	Помехозащищенность, дБ, не менее			
	80	80	80	80
	Потребляемая мощность основного блока			
	28 ВА	28 Вт	28 ВА	28 Вт
	Наработка на отказ, ч			
	3500	4272	5000	5400
	Масса основного блока, кг			
	5,3	4,5	5	4,8
	Габариты основного блока, мм			
	90,4×320×194	90,4×320×194	90,4×320×194	90,4×320×194
	Полнота автоматизированного встроенного контроля			
	0,99	0,99	0,99	0,99
	Элементная база			
	Микросхемы, микропроцессор, микросборки	БИС, микропроцессор	Микросхемы, микропроцессор, микросборки	БИС, микропроцессор
	Диапазон рабочих температур			
	–60...+70°С	–55...+70°С	–60...+70°С	–55...+70°С
	Расход воздуха для охлаждения			
	0,01 м³/с	Не имеется	0,01 м³/с	Не имеется

Высокие технико-экономические характеристики и снижающаяся стоимость навигационно-посадочного оборудования метрового диапазона определяют большое число их пользователей. Так, только в США число пользователей системой VOR/DME составляет более 200 тыс., а системой ILS — более 70 тыс. [1]. Количество наземных радиомаяков системы VOR во всем мире составляет 909, систем VOR/DME — 694, и их число увеличивается.

Системы навигации и посадки VOR/DME и ILS по техническим и конструктивным характеристикам соответствуют международным стандартам и для самолетов гражданской авиации гарантируются ICAO, а большое число пользователей этих систем определяет их эксплуатацию и в будущем.

Рассмотрим сравнительные характеристики бортовых приемников IV поколения систем VOR и ILS исходя из технической конъюнктуры рынка навигационно-посадочного оборудования. При этом отметим, что украинские бортовые приемники ILS-85 [5] выполняют и дополнительные, отсутствующие в зарубежной аппаратуре, системные функции по посадке ЛА на аэродромы, оборудованные устаревающими системами посадки отечественного производства СП-50, -70. В навигационных приемниках VOR-85 [6] совмещены функции маркерного канала.

По техническим и конструктивным характеристикам среди зарубежных бортовых приемников нам наиболее полно известны навигационные приемники DVR-2200 и посадочный приемник ILS-2300 (EAS, Франция). Основные характеристики бортовой украинской [5] и французской [7, 8] аппаратуры представлены в **табл. 2** (здесь РГМ — параметр точностных характеристик бортового оборудования систем ILS [9, с. 8]).

Следует отметить, что оборудование VOR-85 и ILS-85 создано на отечественной элементной базе, которая в 2,06 раза объем-

ней и тяжелей аналогичной зарубежной (статистическая оценка ВНИИ радиоаппаратуры, Россия) и заметно уступает ей по характеристикам надежности. Однако принятые при разработке и освоении оригинальные системные, схемотехнические, конструктивные, программно-математические решения [5] и др. позволили практически нейтрализовать этот фактор и, как можно заключить из табл. 2, вписаться в унифицированные международные габариты, создать приемники, которые по подавляющему большинству принципиальных характеристик соответствуют лучшим зарубежным образцам.

Основным элементом бортового оборудования системы навигации VOR и системы посадки ILS являются соответственно бортовые приемники VOR-85 и ILS-85, которые жестко регламентированы по техническим и конструктивным характеристикам международными рекомендациями ARINC серии 700 и отечественной нормативно-технической документацией. Они взаимодействуют с наземными маяками различных типов, выполняют различные функции, следовательно, унификация их на уровне блоков невозможна. Тот же вывод относится к возможности их унификации относительно отечественных изделий III поколения аналогичного назначения, например изделия «Курс МП-70», которое по выходным сигналам (связям с внешними системами), конструктивным характеристикам и т. д. не соответствует требованиям ARINC серии 700.

Нужно отметить, что по конструктивным характеристикам блоков приемники VOR-85 и ILS-85 полностью унифицированы. Типоразмер корпусов основных блоков обоих изделий — 3, что соответствует международному стандарту ЗМСИ с размерами, приведенными в табл. 2. Электрическое соединение блока с монтажным устройством выполнено с помощью соединителя врубного типа, позволяющего взаимозамену отечественного оборудования с зарубежными блоками аналогичного назначения на борту ЛА.

На уровне составных частей блоков, т. е. электронных модулей, унификация бортовых приемников осуществлена самым широким образом. Так, использование одного и того же диапазона сетки частот, одинаковые требования по чувствительности, помехозащищенности, стабильности и т. д. для курсового канала приемника ILS-85 и навигационного канала приемника VOR-85 позволили унифицировать ряд высокочастотных электронных модулей, а подобие решаемых задач, одинаковый тип связей с внешними системами, номиналов источников вторичного электропитания и т. д. позволили унифицировать ряд низкочастотных и цифровых электронных модулей указанных приемников. Степень их унификации составляет 55%.

Блок радиоприемный ILS-85 представляет собой бортовую аппаратуру посадки самолетов по маякам типа ILS и предназначен для работы в составе комплекса стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования (КСЦПНО) и приема сигналов курсового и глиссадного наземных маяков, определения по ним информации об отклонении самолета от курса и глиссады посадки и выдачи этой информации на индикацию и систему автоматического управления полетом.

Схема электрическая структурная блока представлена на **рис. 1**, где приняты условные сокращения сигналов: *НЧК* — низкочастотный курсовой; *НЧГ* — низкочастотный глиссадный; *НЧнГ* — низкочастотный нормирующий глиссадный; *Код СЧК* — код синтезатора частот курсового; *Код СЧГ* — код синтезатора частот глиссадного; *Вкл ПЧ* — включение промежуточной частоты; *Запрет п/к* — запрет перестройки и контроля; *Пост вых данные К* — постоянные выходные данные курсовые; *Пост вых данные Г* — постоянные выходные данные глиссадные; *Прер вых данные К* — прерванные выходные данные курсовые; *Прер вых данные Г* — прерванные выходные данные глиссадные; *Управл вых данными К* — управление выходными данными курсовыми; *Управл вых данными Г* — управление выходными данными глиссадными; *НЧ контр* — низкочастотный контрольный; *ГГ* — гетеродина глиссадного; *ГК* — гетеродина курсового; *Готов СЧК* — готовность СЧК; *ТЛФ* — телефон; *Канал МП* — канал мультиплексора.

Блок состоит из модулей — высокочастотного курсового (МВЧК), синтезатора частот курсового (СЧК), модуля высокочастотного глиссадного (МВЧГ), синтезатора частот глиссадного (СЧГ), специализированного цифрового вычислительного устройства (СЦВУ), модуля цифрового обмена (МЦО), модуля телефонного канала (МТК), модуля аналого-цифрового преобразователя посадочного (МАЦПП), модуля вторичного электропитания (МВЭП).

Блок выполнен на базе оригинальной несущей конструкции типа сборки из функционально-конструктивных модулей (ФКМ), соответствующей по габаритным и установочным размерам международному стандарту «ARINC-600». ФКМ представляет собой конструктивное сочленение двух модулей — печатных плат и передней панели. Такое построение ФКМ позволяет получить унифицированный размер КМ — 244×174×20 мм. Объединив модули блока в пары МВЧК и СЧК (КМ-1), СЦВУ и МЦО (КМ-2), МАЦПП и МВЭП/МТК (КМ-3), МВЧГ и СЧГ (ILS-85), получаем четыре ФКМ, которые составляют блок. При этом отпадает необходимость в корпусе блока, поскольку соединенные между собой ФКМ являются законченной блоковой конструкцией. На задней панели блока ILS-85 установлен соединитель типа «ВКАД», с помощью которого осуществляется электрическая связь с бортовыми самолетными системами. Блок размещается на монтажной раме либо на стеллаже КСЦПНО самолета.

Модули, входящие в состав блока, осуществляют прием высокочастотных сигналов с курсовой и глиссадной антенн (как в режиме ILS, так и СП-70), аналого-цифровое преобразование выделенных низкочастотных составляющих, их обработку и формирование информации заданного формата. Кроме того, часть элементов блока используется для организации встроенного контроля работоспособности блока. Обработка информации, управление работой модулей осуществляются с помощью СЦВУ.

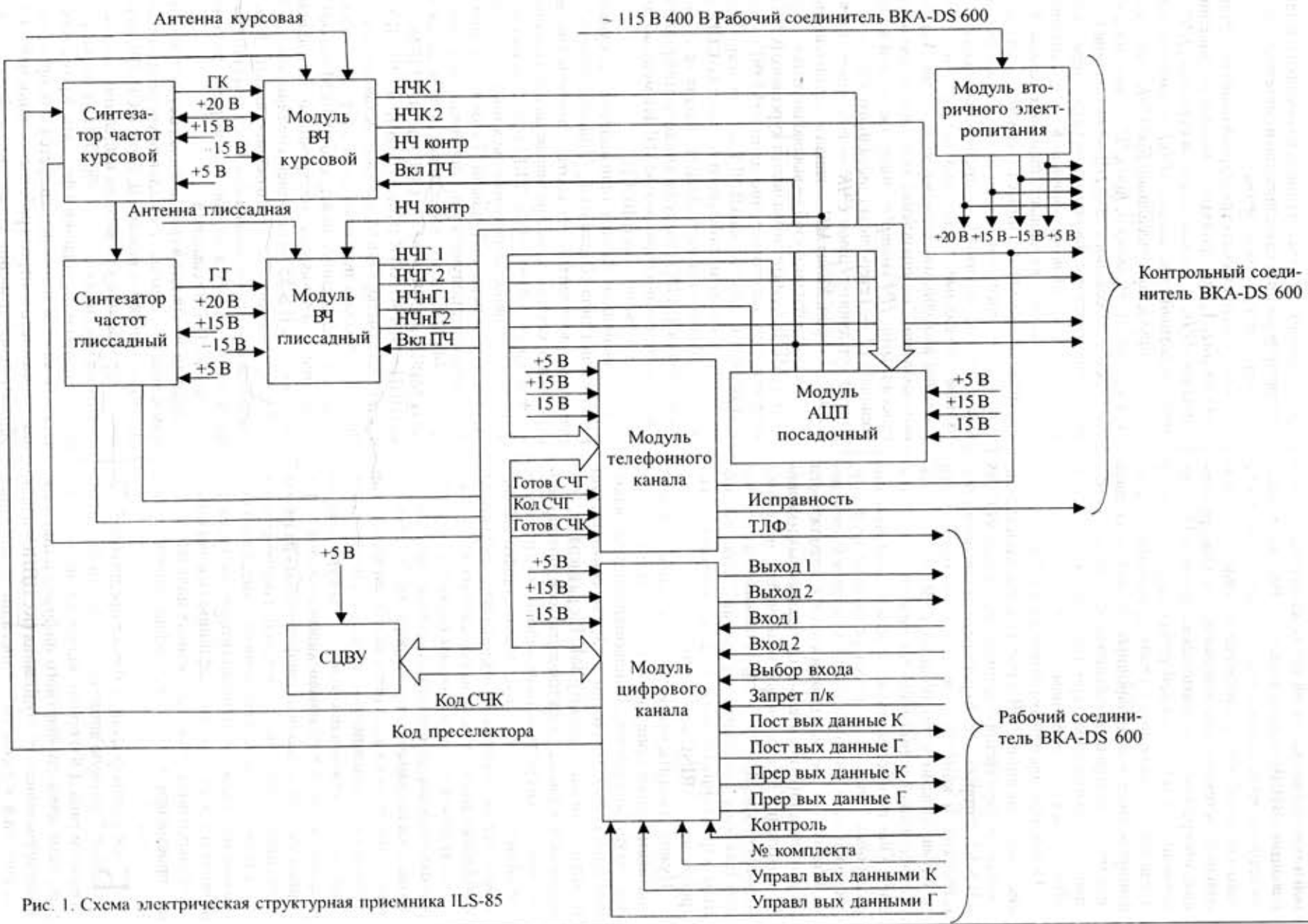


Рис. 1. Схема электрическая структурная приемника ILS-85

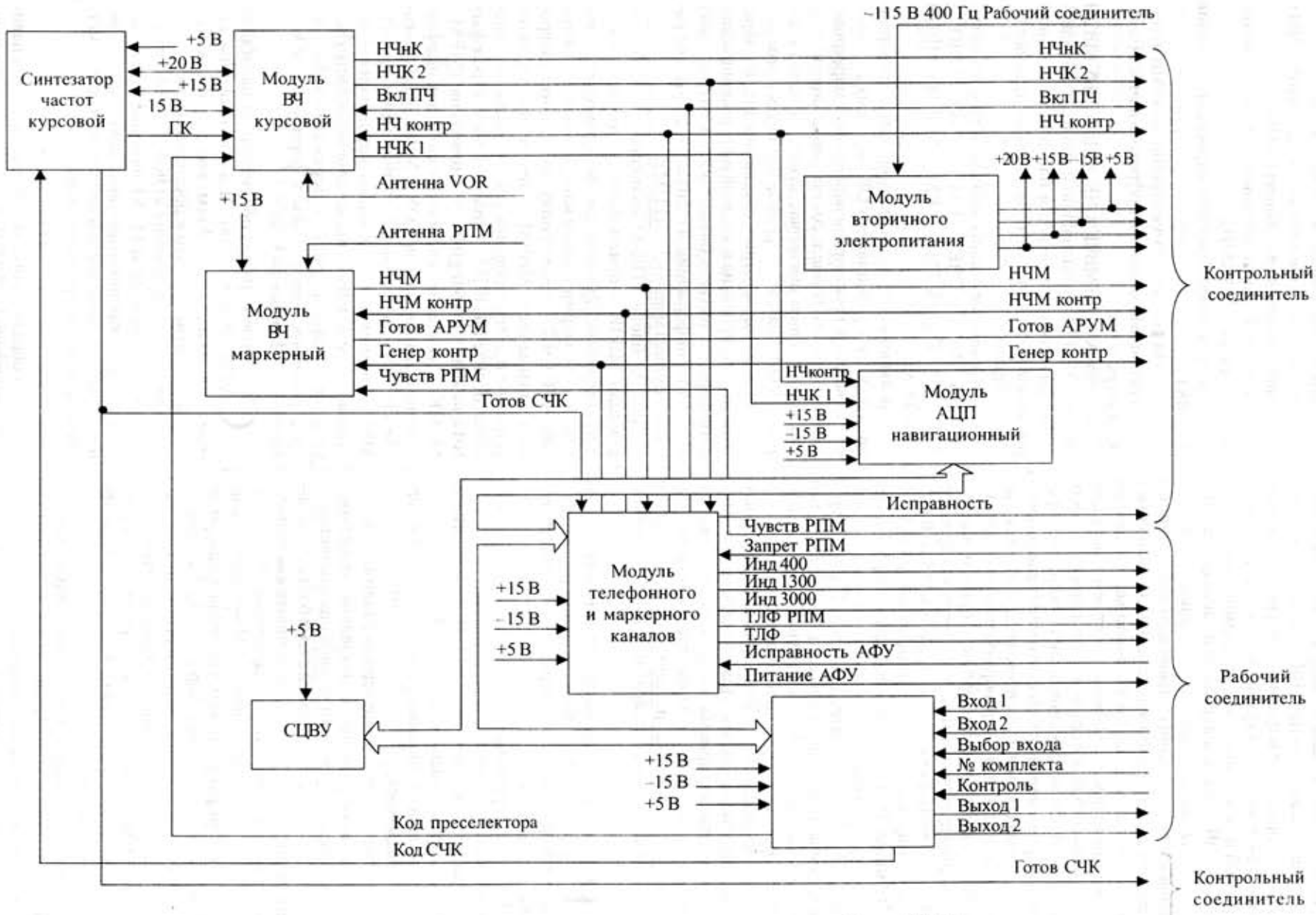


Рис. 2. Схема электрическая структурная радиоприемного блока VOR-85

Блок состоит из девяти модулей, которые выполняют следующие функции: ВЧ курсовой и ВЧ глиссадный — прием, фильтрацию, усиление, детектирование ВЧ-сигналов, поступающих соответственно от курсовой и глиссадной антенн, формирование контрольных ВЧ-сигналов курсовых и глиссадных; синтезаторы частот, курсовой и глиссадный, — самонастраиваемые гетеродины с цифровым управлением в курсовом и глиссадном каналах; СЦВУ выполняет программы, записанные в постоянном запоминающем устройстве цифрового обмена, — прием и передачу биполярного кода, которым осуществляется информационный обмен с внешними системами, формирование и прием управляющих сигналов; телефонного канала — выделение и усиление телефонного сигнала; АЦП посадочный — преобразование входных аналоговых сигналов в цифровую форму и выдачу результатов преобразования; вторичного электропитания — преобразование напряжения сети 115 В, 400 Гц в стабилизированные постоянные напряжения 5, 15, 20 В и минус 15 В, используемые для электропитания всех модулей блока. Для организации взаимодействия, управления и контроля модули СЦВУ, цифрового обмена, телефонного канала и АЦП посадочный связаны между собой стандартной 16-разрядной шиной. Обмен информацией блока с внешними системами осуществляется биполярным 32-разрядным последовательным кодом. Для проверки работоспособности трактов приема и обработки курсовых и глиссадных сигналов в блоке предусмотрена разветвленная система встроенного автоматического контроля на основе аппаратных и программных средств.

В связи с глубокой аппаратурной унификацией с блоком ILS-85 блока VOR-85 рассмотрим только отличительные характеристики и принцип действия последнего.

Блок радиоприемный VOR-85 в составе КСЦПНО предназначен для определения и выдачи:

— азимута самолета относительно магнитного меридиана, проходящего через маяк VOR;

— сигналов опознавания радиомаяков VOR и маркерных радиомаяков;

— момента пролета маркерных радиомаяков.

Выходная информация блока используется комплексом для автоматизации управления самолетом.

Электрическая структурная схема блока представлена на **рис. 2**, где *РПМ* — радиоприемник маркерный; *НЧМ* — низкочастотный маркерный; *НЧМ контр* — НЧМ контрольный; *Готов АРУМ* — готовность автоматической регулировки усиления маркерной; *НЧнК* — низкочастотный нормирующий курсовой; *Вкл ПЧ* — включение промежуточной частоты; *Генер контр* — включение генератора контрольного; *Чувств РПМ* — чувствительность РПМ; *Готов СЧК* — готовность синтезатора частот курсового; *Код СЧК* — код синтезатора частот курсового; *Канал МП* — канал мультиплексора; *Инд* — индикация; *АФУ* — антенно-фидерное устройство.

Блок состоит из восьми модулей:

— модуля высокочастотного курсового (МВЧК);

— синтезатора частот курсового (СЧК);

— модуля высокочастотного маркерного (МВЧМ);

— модуля цифрового обмена (МЦО);

— модуля аналого-цифрового преобразования навигационного (МАЦМН);

— модуля телефонного и маркерного каналов (МТМК);

— модуля вторичного электропитания (МВЭП);

— специализированного цифрового вычислительного устройства.

При этом модули МВЧК, СЧК, МЦО, СЦВУ, МВЭП блока VOR-85 функционально и аппаратурно идентичны аналогичным модулям блока ILS-85. Конструктивное исполнение этих блоков выполнено на единых принципах.

Объединенные в пары модули образуют четыре ФКМ: МВЧК и СЧК — КМ-1, СЦВУ и МЦО — КМ-2, МАЦПН и МТМК — КМ-3, МВЧМ и МВПЭ — VOR-85.

Для выполнения задач формирования информации об азимуте радиомаяка VOR, звуковых сигналов опознавания, а также признаков пролета маркерных радиомаяков входящие в состав блока модули осуществляют прием высокочастотных сигналов с антенны VOR, аналого-цифровое преобразование выделенных низкочастотных составляющих, их обработку и формирование выходной информации заданного формата. Модули блока также образуют тракт выделения информации из сигналов с антенны радиоприемника маркерного (РПМ).

Модули блока VOR-85 выполняют следующие функции: МВЧК — прием, фильтрацию, усиление и детектирование ВЧ-сигналов, поступающих от антенны VOR, формирование контрольных ВЧ-сигналов VOR; СЧК — перестройку гетеродина с цифровым управлением; МВЧМ — прием, фильтрацию, усиление и детектирование ВЧ-сигналов, поступающих от антенны РПМ, формирование контрольных ВЧ-сигналов маркерных радиомаяков (МРМ); МТМК — усиление телефонных сигналов и сигналов опознавания маяков VOR и МРМ, формирование сигналов контрольных и индикации пролета МРМ, формирование сигналов управления и исправности; МАЦПН — выделение низкочастотных (НЧ) сигналов опорной и переменной фаз, их преобразование в цифровой код, формирование контрольных НЧ-сигналов VOR.

Серийные образцы оборудования навигации VOR-85 и посадки ILS-85 показаны соответственно на рис. **3** и **4** (см. 3-ю стр. обложки).

Следует отметить, что в обеспечение эксплуатации и ремонта оборудования VOR-85 и ILS-85 разработан [10] на базе ЭВМ PC/AT наземный вычислительно-управляющий комплекс оценки ("по состоянию") работоспособности аппаратуры и ее параметров безопасности при эксплуатации.

***

Таким образом, опыт эксплуатации систем навигации и посадки VOR/DME и ILS показывает, что по

большинству технико-эксплуатационных характеристик, экономических и организационных факторов они наиболее удовлетворяют требованиям гражданской авиации. Продолжаются заказы на установку систем VOR/DME и ILS в США и, в еще большей степени, в европейских, азиатских и африканских странах. Широкое распространение таких систем и наивысшие показатели по критерию "стоимость — эффективность" обусловливают их широкую эксплуатацию и впредь.

Отечественным специалистам за счет неординарных системотехнических, схемотехнических, программно-математических, конструктивных решений удалось на элементной базе, в 2,06 раза превышающей зарубежную по объему и массе, создать, серийно и эксплуатационно освоить бортовое оборудование навигации VOR-85 и посадки — ILS-85 с характеристиками, практически идентичными характеристикам лучших зарубежных образцов, и взаимозаменяемое с ними на борту летательных аппаратов. Это позволило бортовое оборудование VOR-85 и ILS-85 принять штатным для самолетов, выходящих на авиалинии в конце XX — начале XXI века: ИЛ-96, ТУ-204, ИЛ-114, ТУ-334, Ан-218 и др.

Для наземного контроля работоспособности и оценки параметров оборудования VOR-85 и ILS-85 создан информационно-вычислительный, эксплуатационно-ремонтный комплекс, отвечающий требованиям международной организации гражданской авиации ICAO к оборудованию контроля такого назначения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Додингтон С. Х. Краткий обзор радионавигационных систем // ТИИЭР. — 1983.— Т. 71, № 10.— С. 2—4 .

2. Зурабов Ю. Г., Мищенко И. Н., Мельников В. Г. План развития радионавигационных систем в США // Зарубежная радиоэлектроника.— 1983.— № 9.

3. Хогл П. Сравнительный анализ характеристик навигационных систем с учетом требований гражданской авиации к навигационному обеспечению // ТИИЭР.— 1983.— Т. 71, № 10.— С. 115—122 .

4. Бортовая РЭА для авиации общего назначения // Flight Internation.— 1982.— Vol. 122, N 3841.— P. 1752—1758.

5. А. с. 1344064 СССР. Приемник инструментальной посадки / В. И. Кондрашов, В. К. Сопрунов, В. Н. Музыченко и др.— 16.01.86.

6. А. с. 1128793 СССР. Радиоприемник сигналов всенаправленного маяка фазовой системы ближней навигации / В. И. Кондрашов, Г. Ф. Гущин, В. В. Кузьмин, Б. П. Чернов.— 18.07.83.

7. DVR 2200. VOR/MARKER RECEIVER. Проспект фирмы EAS.

8. ILS 2300.1LS RECEIVER. Проспект фирмы EAS.

9. Хаймович И. А., Устроев Ю. Е., Панов Э. А. и др. Бортовые радиоустройства посадки самолетов.— М.: Машиностроение, 1980.

10. Кондрашов В. І., Федоренко В. М. Автоматизований комплекс вхідного контролю і перевірки працездатності бортової навігаційної та посадочної апаратури // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво.— 1996.— № 9 — 10.— С. 3—4 .

Редакция журнала
«ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ»
приглашает читателей журнала, предприятия и организации к сотрудничеству

ВЫ МОЖЕТЕ

подготовить статью — рекомендации авторам по подготовке рукописи опубликованы в этом номере журнала.

разместить в журнале рекламу, черно-белую или полноцветную.

заказать издание книги (редакция зарегистрирована как издательское предприятие). В этом случае для удешевления и ускорения работ необходимы контакты на ранних этапах оформления рукописи.

написать письмо по поводу, представляющему, на Ваш взгляд, интерес для читателей журнала.

задать вопрос, который, как Вы считаете, интересует не только Вас.

Журнал «ТКЭА» — для Вас.
Пишите (лучше — по e-mail <tkea@odessa.net>),
звоните (+38–048) 733-72-83, 733-67-91.

К. ф.-м. н. А. И. ТИМОШКИН

Украина, г. Днепропетровск, ГКБ «Южное»
E-mail: kbu@public.ua.net

Дата поступления в редакцию
13.07 2001 г.

Оппонент *к. т. н. А. А. ЧЕРЕВКО*
(ГНПП «Электронмаш», г. Киев)

КОНТРОЛЕПРИГОДНАЯ СХЕМА ДВОИЧНОГО СУММАТОРА С ПОВЫШЕННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

Разработана контролепригодная функционально-логическая схема двоичного сумматора на основе 4-разрядной секции с одновременным переносом.

Одной из важнейших задач технической диагностики цифровых систем является задача получения коротких проверяющих тестов, позволяющих за приемлемое время организовать контроль цифровых интегральных схем на стадиях производства и эксплуатации. Однако для этого необходимо, чтобы цифровые интегральные схемы имели соответствующий уровень контролепригодности.

Под контролепригодностью технического объекта принято понимать свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению контроля и диагностированию заданными средствами. Различные уровни контролепригодности цифровых микросхем обеспечиваются различными концепциями их контролепригодного проектирования. Так, концепция «константного» контролепригодного проектирования [1—5] предполагает разработку цифровых схем, обладающих проверяющим тестом заранее фиксированной длины, не зависящей от числа их входов, логических элементов и уровней, т. е. предполагает обеспечение цифровых микросхем максимальным уровнем контролепригодности.

В системах обработки информации всевозрастающую роль играют цифровые интегральные схемы с регулярной структурой (сумматоры, умножители и т. п.). В работах [6, 7] предложены контролепригодные функционально-логические схемы двоичных сумматоров с последовательным (сквозным) переносом, обладающие проверяющими тестами длины 5 и 6 относительно константных [8, 9] неисправностей их сигнальных линий, независимо от числа разрядов в них. Существенным недостатком этих схем является недостаточно высокое быстродействие из-за последовательной организации переноса.

В настоящей статье рассматривается контролепригодная функционально-логическая схема двоичного сумматора на основе 4-разрядной секции с одновременным переносом [10] внутри секций и последовательным переносом между секциями.

Построение предлагаемой схемы базируется на представлении функций суммы S и переноса P полного одноразрядного сумматора в форме полиномов Жегалкина (полиномов по mod 2), а также на том факте, что полином Жегалкина для функции переноса P одноразрядного сумматора довольно прост:

$$P=ab\oplus ap_{вх}\oplus bp_{вх};\qquad (1)$$

$$S=a\oplus b\oplus p_{вх},$$

где a и b — значения исходных одноразрядных операндов;

$p_{вх}$ — входной сигнал переноса.

Этот факт впервые был использован в работе [6] при построении легкотестируемой схемы двоичного сумматора с последовательным переносом в базисе, состоящем из двухвходового элемента «И» и трехвходового элемента «Исключающее ИЛИ». Согласно представлению (1), для функций сумм S_{1i}, S_{2i}, S_{3i}, S_{4i} и выходного сигнала переноса P_{4i} i-й 4-разрядной секции с одновременным переносом можно получить следующие формулы:

$$S_{1i} = a_{1i} \oplus b_{1i} \oplus u_{1i} \oplus p_{0i};$$

$$S_{2i} = a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i} \oplus a_{1i}b_{1i} \oplus (a_{1i} \oplus b_{1i} \oplus u_{1i})p_{0i};$$

$$S_{3i} = a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i} \oplus a_{2i}b_{2i} \oplus a_{1i}b_{1i}(a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i}) \oplus$$
$$\oplus (a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i})(a_{1i} \oplus b_{1i} \oplus u_{1i})p_{0i};$$

$$S_{4i} = a_{4i} \oplus b_{4i} \oplus u_{4i} \oplus a_{3i}b_{3i} \oplus a_{2i}b_{2i}(a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i}) \oplus$$
$$\oplus a_{1i}b_{1i}(a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i})(a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i}) \oplus$$
$$\oplus (a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i})(a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i})(a_{1i} \oplus b_{1i} \oplus u_{1i})p_{0i};$$

$$P_{4i} = a_{4i}b_{4i} \oplus a_{3i}b_{3i}(a_{4i} \oplus b_{4i} \oplus u_{4i}) \oplus$$
$$\oplus a_{2i}b_{2i}(a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i})(a_{4i} \oplus b_{4i} \oplus u_{4i}) \oplus$$
$$\oplus a_{1i}b_{1i}(a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i})(a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i})(a_{4i} \oplus b_{4i} \oplus u_{4i}) \oplus$$
$$\oplus p_{0i}(a_{1i} \oplus b_{1i} \oplus u_{1i})(a_{2i} \oplus b_{2i} \oplus u_{2i})(a_{3i} \oplus b_{3i} \oplus u_{3i}) \times$$
$$\times (a_{4i} \oplus b_{4i} \oplus u_{4i}) \oplus u_{5i}. \qquad (2)$$

где a_{ji} и b_{ji} — j-разряды исходных четырехразрядных операндов;

p_{0i} — входной сигнал переноса;

u_{1i}, u_{2i}, u_{3i}, u_{4i}, u_{5i} — дополнительные управляющие входные переменные.

Дополнительные управляющие переменные (входы) u_{1i}, u_{2i}, u_{3i}, u_{4i} здесь введены для удобства синтеза проверяющего теста каждой 4-разрядной секции, u_{5i} введена для управления значением сигнала переноса из i-й в i+1-ю секцию.

Контролепригодная логическая схема i-й ($i\in\{1, 2,\ldots, m\}$) 4-разрядной секции с одновременным пе-

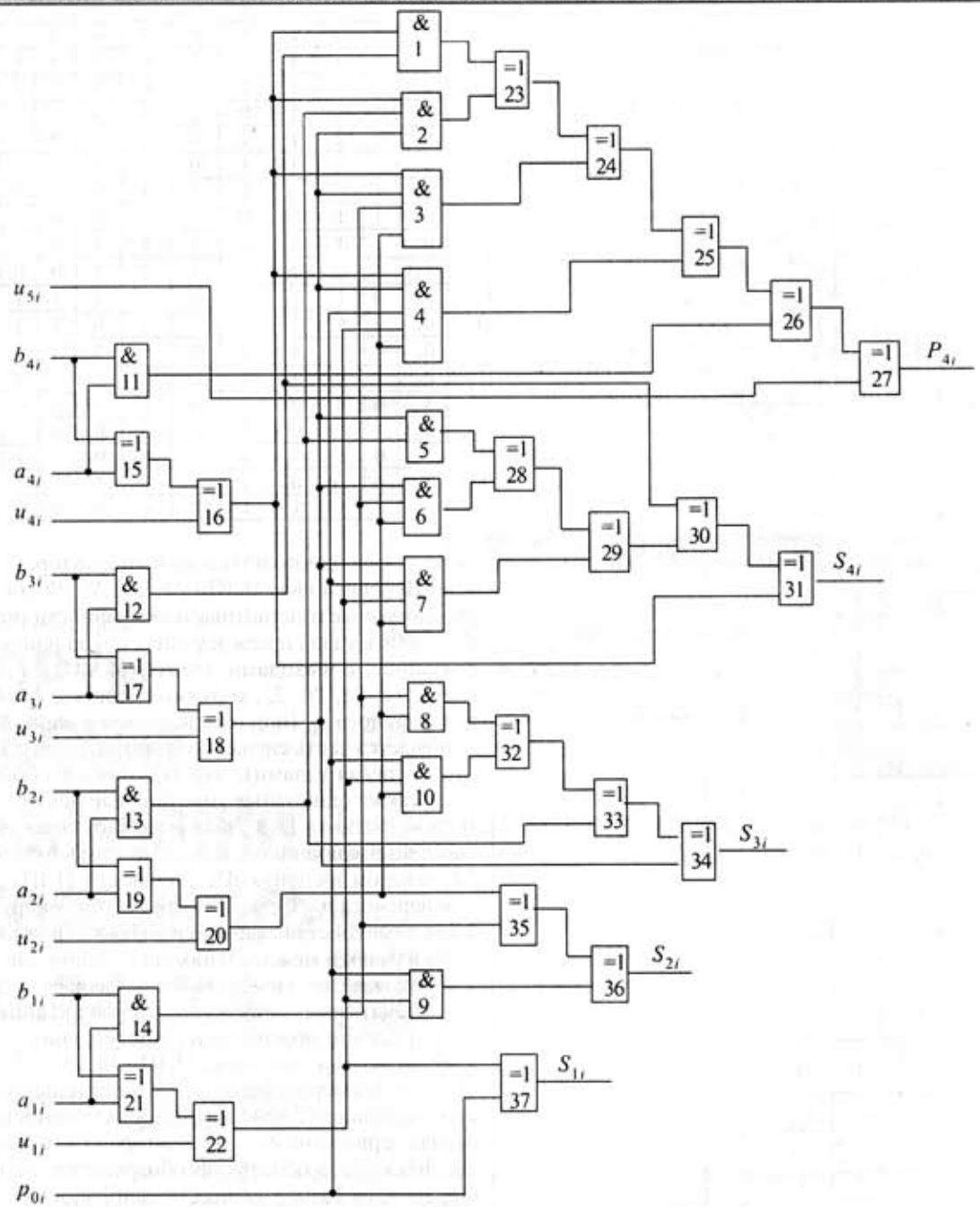


Рис. 1. Контролепригодная логическая схема i-й 4-разрядной секции с одновременным переносом

реносом, реализованная по формулам (2), приведена на **рис. 1**.

Контролепригодная схема Q (**рис. 2**) n-разрядного двоичного сумматора (где n=4m, m — натуральное число) с последовательным переносом между секциями образуется из m контролепригодных логических схем 4-разрядной секции путем соединения выхода переноса $P_{4(i-1)}$ (i—1)-й секции со входом переноса p_{0i} i-й секции (где 2≤i≤m). Кроме этого, дополнительные управляющие входы $u_{j1}, u_{j2}, \ldots, u_{jm}$ соединяются с внешним входом u_j для $\forall j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$. При этом в рабочем режиме на управляющие входы u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 и вход переноса в младшую секцию p_{01} подаются сигналы логического «0».

Проверяющий тест для каждой i-й 4-разрядной секции ($i \in \{1, 2, \ldots, m\}$) один и тот же и содержит 11 векторов. Состав этого теста описан в **таблице**. Этот тест может быть получен с помощью обычных известных способов генерации тестов, таких как D- и PODEM-алгоритмы [9, с. 240]. Проверяющий тест для контролепригодной схемы Q n-разрядного (n=4m) двоичного сумматора, состоящего из m секций, образуется путем простой итерации приведенного теста. Тест обнаруживает все одиночные константные неисправности и значительную часть константных неисправностей кратности 2 сигнальных линий схемы Q (в т. ч. во внутренней структуре элементов «Исключающее ИЛИ»), при этом длина этого теста не зависит от числа секций в схеме Q.

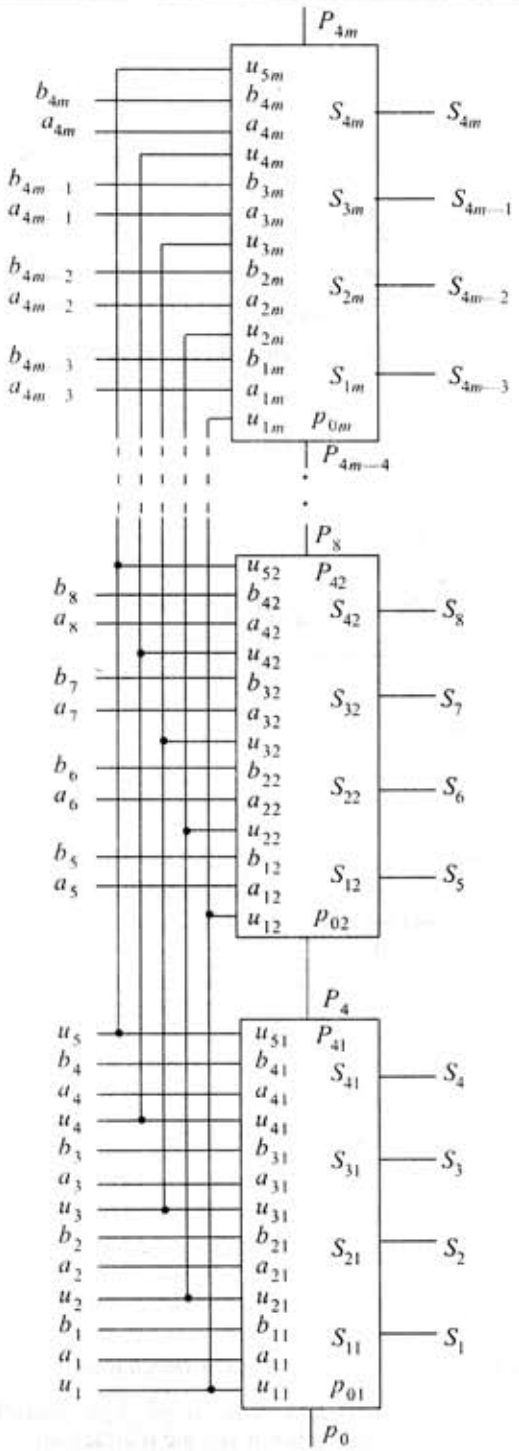


Рис. 2. Контролепригодная схема Q n-разрядного (n=4m) двоичного сумматора

Обнаружение отмеченных неисправностей схемы Q происходит следующим образом. Первые шесть тест-векторов таблицы обнаруживают все одиночные и кратности 2 константные неисправности входов и выходов i-й 4-разрядной секции ($i \in \{1, 2, \ldots, m\}$) n-разрядного двоичного сумматора (см. рис. 1), входов конъюнкторов *1*—*14* (при этом образующие обнаруживаемую константную неисправность кратности 2 одиночные константные неисправности находятся на входах одного и того же конъюнктора), элементов «Исключающее ИЛИ» *15*, *26*, *28*, *29*, *30*, *32*, *33*, *36*, одиночные константные неисправности типа «константа 0» в узлах и междоузлиях сигнальных линий, связанных с выходами элементов «Исключающее ИЛИ» *16*, *18*, *20*, *22*, конъюнкторов *12*, *13*, *14*, входом переноса p_{0i} (под междоузлием в данной работе понимается часть сигнальной линии, расположенная между двумя узлами). Эти тест-вектора обнаруживают также одиночные константные неисправности типа «константа 1» в узлах и междоузлиях сигнальных линий, связанных с выходами конъюнкторов *12*—*14*, выходом элемента «Исключающее ИЛИ» *22*, входом переноса p_{0i}. Седьмой тест-вектор обнаруживает одиночные константные неисправности типа «константа 1» в узлах и междоузлиях сигнальной линии, связанной с выходом элемента «Исключающее ИЛИ» *16*.

P_{0i}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
u_{1i}	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
a_{1i}	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
b_{1i}	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
u_{2i}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
a_{2i}	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
b_{2i}	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1
u_{3i}	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
a_{3i}	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
b_{3i}	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0
u_{4i}	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
a_{4i}	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
b_{4i}	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
u_{5i}	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
S_{1i}	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
S_{2i}	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
S_{3i}	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
S_{4i}	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
P_{4i}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1

Подача первых семи тест-векторов таблицы на входы i-й секции обеспечивает поступление на входы элементов «Исключающее ИЛИ» *16*, *18* — *22*, *31*, *34*, *35*, *37* их проверяющего теста относительно одиночных и кратности 2 константных неисправностей. При подаче первых восьми тест-векторов таблицы на входы i-й секции гарантируется обнаружение одиночных и кратности 2 константных неисправностей элементов «Исключающее ИЛИ» *17*, *27*. Восьмой и девятый тест-векторы обнаруживают одиночные константные неисправности типа «константа 1» в узлах и междоузлиях сигнальных линий, связанных с выходами элементов «Исключающее ИЛИ» *18* и *20*, соответственно. Подача первых десяти тест-векторов упомянутой таблицы на входы i-й секции гарантирует обнаружение одиночных и кратности 2 константных неисправностей элементов «Исключающее ИЛИ» *23* и *24*. Наконец, подача всех одиннадцати тест-векторов на входы i-й секции гарантирует обнаружение одиночных и кратности 2 константных неисправностей элемента «Исключающее ИЛИ» 25.

***

Таким образом, предложенная контролепригодная функционально-логическая схема обладает проверя-

ющим тестом из одиннадцати входных векторов относительно всех ее одиночных константных неисправностей, что почти в два раза больше числа входных векторов в проверяющем тесте схемы из [7]. Это связано со значительным усложнением предлагаемой схемы, однако это усложнение оправдано, поскольку приводит к повышению быстродействия. Необходимо отметить, что данный способ повышения быстродействия является наиболее экономичным в отношении объема аппаратных средств [10, с. 127].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Friedman A. D. Easily testable iterative systems // IEEE Trans. on computers.— 1973.— N 12.— P. 1061—1064.

2. Saluja K. K., Reddy S. M. On minimally testable logic networks // Ibid.— 1974.— N 5.— P. 552—554.

3. Elhuni H., Vergis A., Kinney L. C-testability of two-dimensional iterative arrays // IEEE Trans. on comput. aided design.— 1986.— Vol. CAD-5, N 4.— P. 573—581.

4. Lombardi F., Huang W. K. Fault detection and design complexity in C-testable VLSI arrays // IEEE Trans. on computers.— 1990.— Vol. 39, N 12.— P. 1477—1481.

5. Qiao T., Jha N. K. Design of C-testable DCVS binary array dividers // IEEE J. of Solid-state circuits.— 1991.— Vol. 26, N 2.— P. 134—141.

6. Тимошкин А. И. Контролепригодная функционально-логическая схема двоичного сумматора // Приборы и системы управления.— 1997.— № 1.— С. 42—43.

7. Тимошкин А. И. Контролепригодная схема двоичного сумматора // Автоматика и вычислительная техника.— 2000.— № 3.— С. 82—84.

8. Казначеев В. И. Диагностика неисправностей цифровых автоматов.— М.: Сов. радио, 1975.

9. Киносита К., Асада К., Карацу О. Логическое проектирование СБИС— М.: Мир, 1988.

10. Мик Дж., Брик Дж. Проектирование микропроцессорных устройств с разрядно-модульной организацией. Кн.1.— М.: Мир, 1984.

ТРЕТИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ

ФОРУМ ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА

22—26 апреля 2002 г.
МОСКВА
ВК ЗАО "ЭКСПОЦЕНТР"



Подробная информация по планируемым на Форуме мероприятиям на сайте: http://www.hitechno.ru

Адрес организатора Форума: 113209, Москва, ул. Зюзинская, 6, корп. 2. АО "ЭКОС".
Тел. (095) 331-35-81.
E-mail: hitdi@nii-ecos.ru

НОВЫЕ КНИГИ

ВЫШЛА В СВЕТ

Присняков В., Бондаренко С., Луценко В. и др. Тепломассообмен и вибрация.— Одесса: Нептун-Технология, 2001.— 208 с.

Приведены современные данные по влиянию вибраций на тепло- и массообменные процессы: с однофазным теплоносителем, с фазовыми превращениями рабочих жидкостей — от кипения до растворения и кристаллизации. Приводится обзор результатов экспериментальных исследований. Дается простейшая математическая модель влияния колебаний на процессы кипения. Особое внимание уделено численному решению задач по движению пузырьков в колеблющейся жидкости. Анализируются известные конструкторские разработки по использованию вибраций с целью интенсификации процессов в сахарной промышленности. Рассмотрено влияние вибровоздействий на характеристики тепловых труб. Представлен обзор экспериментальных методов изучения процессов с вибрациями.

Предназначена для работников промышленности, научных сотрудников, аспирантов, конструкторов, преподавателей, студентов.

Справки по e-mail: nikol@industry.gov.ua

К. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, к. т. н. В. В. СИМОНОВ, А. Н. ДОНЧИЛО

Украина, Одесский нац. политехнический университет
E-mail: kpra@rtf.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию
15.06 2001 г.
Оппонент *к. т. н. А. П. ТИМОХИН*
(«Авангард», г. С.-Петербург)

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ПОКРЫТИЙ

Система многопараметрического поиска позволяет произвести оперативный оптимальный выбор покрытий при разработке электронной аппаратуры.

В процессе разработки электронной аппаратуры решаются вопросы защиты элементов конструкции от внешних воздействующих факторов (климатических, механических, специальных). В первую очередь, это связано с использованием защитных покрытий (лакокрасочных, металлических и др.). Вместе с тем необходимо художественно-конструкторское обеспечение разрабатываемого изделия, что во многом определяется соответствующими декоративными покрытиями. Покрытия используются также с целью придания деталям специальных свойств (паяемость, экранирование, стабильность и низкое значение переходного сопротивления контактов, повышение твердости и т. д.). Все это делает проблему оптимального выбора покрытий достаточно актуальной.

Ручной параметрический поиск необходимых покрытий в специальных таблицах, которые составляют основу соответствующих государственных и отраслевых стандартов (например [1—4]), достаточно объемен по времени. Процесс этот, кроме того, может привести к неоптимальным результатам вследствие человеческого фактора (усталость, невнимательность, разная восприимчивость текста, отсутствие должного опыта).

В связи с изложенным была разработана система автоматизированного многопараметрического оптимального выбора покрытий BPaint3, которая соединяет в себе возможности автоматизированного поиска по таблицам и ручного выбора покрытий из ограниченного множества для получения наиболее эффективного результата.

По используемым материалам, способам нанесения, внешнему виду, назначению и свойствам покрытия можно разделить на две большие группы:

— лакокрасочные покрытия;

— металлические и неметаллические неорганические покрытия.

Лакокрасочные покрытия, в свою очередь, разделяются на атмосферостойкие, водо-, термо-, бензо-, маслостойкие, электроизоляционные, влагозащитные, специальные [4].

Для первой группы, кроме общих свойств, характерны степень блеска, твердости, эластичности, механической прочности. Для второй группы характерным является необходимость учета материала и шероховатости поверхности покрываемой детали, электрохимической совместимости металлов и покрытий сопрягаемых деталей [3]. То есть выбор покрытий целесообразно вести раздельно по указанным группам, используя различные критерии для выбора и, соответственно, две разные программы.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Блок-схема системы представлена на **рис. 1**.



Рис. 1

Подсистема контроля. Предназначена для контроля поисковых возможностей системы. Позволяет изменять содержимое базы данных покрытий. При этом обеспечивается проверка санкционирования доступа.

Подсистема контроля позволяет также корректно учитывать особенности в обозначениях покрытий различного назначения при различных дополнительных параметрах.

База данных. Содержит в себе полную информацию, необходимую для поиска, а также дополнительную информацию, необходимую при ручном или полуавтоматическом режиме работы.

Блок отображения характеристик покрытий. Необходим для принятия окончательного решения о выборе того или иного покрытия. Блок содержит де-

тальную информацию о заданном покрытии (допустимые температурные режимы эксплуатации покрытия, механические свойства, электрохимические свойства, рекомендации к применению).

Блок контроля совместимости материалов. Предназначен для корректного выбора покрытий с учетом материалов сопрягаемых деталей во избежание электрохимического взаимодействия металлов и разрушения одного из них при эксплуатации.

Блок глобального поиска. В системе имеется возможность проводить выборочный поиск среди заданных типов покрытий. Это возможно, если заранее известна группа (или группы) покрытий, которую необходимо использовать. Но во многих случаях тип покрытия заранее неизвестен, а значит, поиск необходимо проводить по всей базе данных. Правильный выбор покрытий в этом случае обеспечивает блок глобального поиска.

Блок локального поиска. Используется, если тип покрытий заранее известен (тогда поиск упрощается).

Блок ручной корректировки результата. Часто при автоматизированном многопараметрическом поиске возникает неоднозначность результатов поиска, т. е. нет одного, оптимального по всем критериям, покрытия. В этом случае пользователь отбирает вручную то покрытие, которые наилучшим образом удовлетворяет экономическим показателям.

Подсистема формирования результата. После завершения поиска результат должен наиболее полно отобразить все технические параметры найденных покрытий. При этом имеется возможность просмотра более детальной информации с целью максимально снизить вероятность неверного выбора.

Таким образом, основные возможности, реализованные в системе, следующие:

— проведение поиска по всей базе данных;
— поиск по выбранным группам покрытий;
— получение справки о некоторых видах покрытий и их характеристиках;
— ручной выбор основных покрытий и покрытий на сопрягаемых деталях с учетом электрохимической совместимости металлов;
— непосредственная работа с базой данных;
— коррекция обозначений покрытий;
— установление или снятие проверки на санкционирование доступа к базе данных с целью ее модификации.

ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Принцип работы системы представлен схемой на **рис. 2**.

Блок анализа вектора входных данных осуществляет предварительную проверку корректности входных данных, а также проверку корректности режима оптимального поиска.

Блок оптимального автоматического поиска производит непосредственный поиск по базе данных. В случае неудачного поиска система отвергает вектор входных данных и предлагает пользователю изменить его так, чтобы он был корректным.

Блок анализа результата поиска предназначен для предоставления пользователю предварительных результатов с целью возможного отбора полученных данных при неоднозначном результате. Неоднозначность результата устраняется самим пользователем путем



Рис. 2

выбора наиболее оптимального покрытия. В случае полной неприемлемости результата поиска имеется возможность вернуться на предыдущий этап с целью корректировки технических требований на покрытие.

Формирование вектора входных данных. Вектор входных данных состоит из ограничений на искомое покрытие:

— материал покрываемой детали;
— материал сопрягаемой детали;
— условия эксплуатации;
— шероховатость поверхности покрываемой детали;
— коэффициент стоимости (учитывается при необходимости);
— класс покрытия;
— основные свойства покрытия;
— цвет покрытия.

Учет этих данных позволяет из всего многообразия покрытий выбрать то, которое наилучшим образом удовлетворяет техническим требованиям, технологичности, а также экономическим показателям.

Опишем подробнее алгоритм осуществления этапа формирования вектора входных данных для металлических и неметаллических неорганических покрытий (см. окно блока формирования на **рис. 3**).

После запуска блока на экране появляется запрос на ввод исходных данных, необходимых для осуществления поиска. В разделе "Исходные данные" запроса указывается материал покрываемой детали, материал сопрягаемой детали, группа условий эксплуатации, а также шероховатость поверхности на покрываемой детали, класс и цвет покрытия и его основные свойства.

Далее задается режим поиска по базе данных. В этом разделе можно указать на необходимость учета электрохимической совместимости основного покрытия и покрытия или металла сопрягаемой детали, шероховатости поверхности покрываемой детали, стоимостных характеристик покрытия.

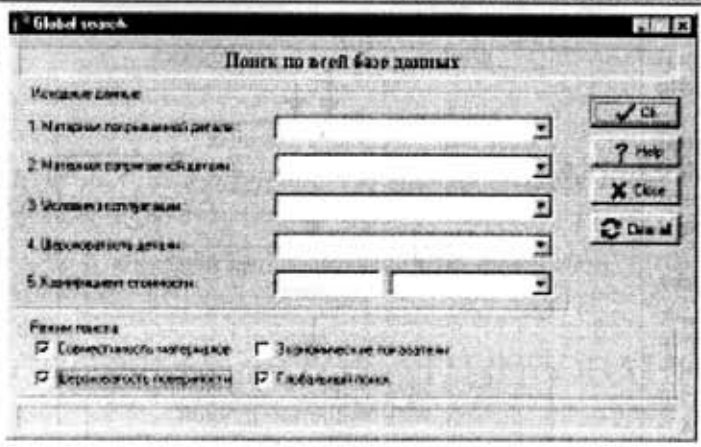


Рис. 3



Рис. 4

Если выбран пункт "Шероховатость детали", то при поиске будут отбираться те покрытия, которые наносятся на детали, имеющие шероховатость не хуже, чем заданная. Если необходимо отобрать те покрытия, которые удовлетворяют экономическим требованиям, то необходимо указать на пункт "Экономические показатели". При этом можно указать коэффициент стоимости покрытия и указать режим выбора покрытия.

Формирование промежуточного результата поиска. В результате успешного поиска, т. е. если система не отвергнет вектор входных данных, на экране появится список найденных покрытий, полностью или частично удовлетворяющих входным условиям. На этом этапе пользователь может в случае неоднозначности результата отобрать интересующие его покрытия вручную, пользуясь информацией о назначении и области его применения.

Если пользователя не удовлетворяет результат поиска, то он может вернуться на этап формирования вектора входных данных и изменить параметры поиска.

Формирование конечного результата поиска. После ручной сортировки наименований покрытий происходит окончательное формирование вектора выходных данных (результата), который содержит наименования покрытий, а также их детальные характеристики.

На этом этапе производится окончательный вывод результата поиска по базе данных. (На **рис. 4** представлено окно конечного результата поиска лакокрасочных покрытий.)

Локальный поиск покрытий. Система позволяет проводить выборочный поиск среди заданных типов покрытий, что снижает вероятность неоднозначного результата поиска и уменьшает время выбора покрытия. Для этих целей можно использовать подсистему локального поиска.

Работа в режиме локального поиска заключается в ручном ограничении типов рассматриваемых покрытий.

Электрохимическая совместимость. Как уже отмечалось ранее, при выборе покрытий необходимо учитывать электрохимическую совместимость металлов и металлических покрытий сопрягаемых деталей для соответствующих условий эксплуатации. В системе имеется возможность заранее оценить электрохимическую совместимость.

Для этого указываются условия эксплуатации, затем основное выбираемое покрытие и покрытие или металл сопрягаемой детали.

Характеристики покрытий. Для принятия окончательного решения при выборе покрытий необходимо быстро получать информацию об их физических и механических свойствах. Для этих целей в системе предусмотрена возможность отображения соответствующей информации для выбранного покрытия.

Работа с базой данных. С целью изменения, дополнения и исключения типов покрытий в системе предусмотрена возможность коррекции содержимого базы данных. Подсистема, с помощью которой выполняются эти действия, позволяет также проверять санкционирование доступа к базе данных, т. е. исключает случайное или незаконное изменение информации.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ

Система оптимального выбора покрытий может корректно функционировать на IBM-совместимых ПЭВМ под управлением ОС Windows 95/98. Программа написана на языке программирования Delphi. Поиск призводится по информации, находящейся в базе данных в формате Paradox. Минимальные требования к системе: процессор не ниже 486, объем оперативной памяти не менее 8 Мб, объем, занимаемый программой на жестком диске, не менее 2,5 Мб.

Оптимальные требования: Pentium 166 MHz с 16 Мб оперативной памяти.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 23852—79. Покрытия лакокрасочные. Общие требования к выбору по декоративным свойствам.

2. ГОСТ 9.104—79. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации.

3. ОСТ 107.9.3001—87. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору.

4. РД 107.9.4002—88. Покрытия лакокрасочные. Классификация, выбор, свойства и область применения.

К. ф.-м. н. В. А. ТАРАСОВ, Д. А. КРОПАЧЕВ

Украина, г. Одесса, СКБ "Молния"
E-mail: kpmo@farlep.net

Дата поступления в редакцию
14.08 2001 г.

Оппонент
к. т. н. В. В. ДАНИЛОВ (ДонГУ, г. Донецк)

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПАССИВНОЙ ЗВУКОВОЙ ЛОКАЦИИ

Рассмотрены наиболее перспективные структуры алгоритмов первичной обработки сигналов в системах ПЗЛ. Представлена практически реализованная квазиоптимальная структура.

Традиционно в системах пассивной звуковой локации (ПЗЛ) [1] под алгоритмами первичной обработки (ПО) сигналов понимаются алгоритмы обнаружения и оценивания параметров полезных сигналов. Практически реализованные на сегодняшний день алгоритмы ПО сигналов в системах ПЗЛ, работающих в реальном масштабе времени, являются квазиоптимальными [2], т. е. классические оптимальные алгоритмы обнаружения и оценивания параметров полезных сигналов (или, в обобщенном виде, оптимальные алгоритмы различения сигналов) [3] упрощаются разработчиком с целью обеспечения их практической реализуемости в условиях ограниченности аппаратных и вычислительных ресурсов. При этом разработчики, как правило, жертвуют оптимальностью алгоритмов обнаружения. Это приводит к снижению вероятности правильного обнаружения и разрешающей способности. Алгоритмы же оценивания параметров полезных сигналов стремятся реализовать оптимальным образом.

Снижение вероятности правильного обнаружения и разрешающей способности ради практической реализуемости всегда принималось пользователем систем ПЗЛ, ибо изначальное предназначение систем ПЗЛ — разведка местоположения артиллерийских орудий, а выполнение боевой задачи, как правило, решается артиллерийской батареей или дивизионом (только в исключительных случаях — отдельным орудием), причем расход снарядов на одно орудие составляет 6 — 10. Снижение точности оценки параметров полезных сигналов недопустимо, ибо это приводит к снижению точности определения координат цели.

Главной задачей разработчика, создающего практически реализуемые алгоритмы ПО сигналов в системах ПЗЛ, остается эволюционное (по мере увеличения аппаратных и вычислительных ресурсов) приближение квазиоптимальных алгоритмов к оптимальным. На этом пути эволюционного развития в связи с быстрым ростом производительности универсальных вычислителей представляется целесообразным минимизировать аппаратную обработку, ограничив ее задачи приемом сигналов, преобразованием их в цифровой вид, передачей их по линии связи и вводом в универсальный вычислитель. В связи с этим появляется возможность основной объем ПО сигналов в системе ПЗЛ переложить на универсальный вычислитель и реализовать ПО в основном на программном уровне. При таком подходе появление в распоряжении разработчика более мощных вычислительных средств позволяет реализовать новые структуры алгоритмов ПО, все более приближающиеся к оптимальным, путем изменения, в основном, только программно-математического обеспечения (ПМО) ПО сигналов в системах ПЗЛ.

В данной работе выделены перспективные для практической реализации структуры квазиоптимальных алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ и представлена практическая реализация квазиоптимальной ПО сигналов, реализованная, главным образом, в виде комплекса ПМО, работающего в реальном масштабе времени на универсальном вычислителе IBM PC 486.

Классическая теория обнаружения сигналов на фоне шумов однозначно определяет алгоритмы работы оптимальных обнаружителей, однако при этом случайные сигнальный и шумовой процессы должны описываться полностью априорно известными (вплоть до параметров) законами распределения. Рассматриваемый акустический сигнальный процесс — случайный нестационарный процесс, который пока не удается описать полностью априорно известными законами распределения из-за сильной вариативности акустического канала распространения и недостаточности экспериментальных данных. Шумовой процесс в системах ПЗЛ — это ветровая помеха, которая близка к нормальной на участках ее стационарности, но не является белым шумом.

Обобщение классической теории оптимальных обнаружителей на случай априорной неопределенности, которое выполнено на основе результатов статистической теории распознавания образов, в итоге приводит к адаптивному обнаружению сигналов на фоне шумов [4], включающему процедуру обучения, которая в параметрическом случае сводится к оценке параметров сигнала и шума (а в общем, непараметрическом случае — к оценке законов их распределения), и процедуру собственно обнаружения, в которой вместо самих параметров сигнала и шума ис-

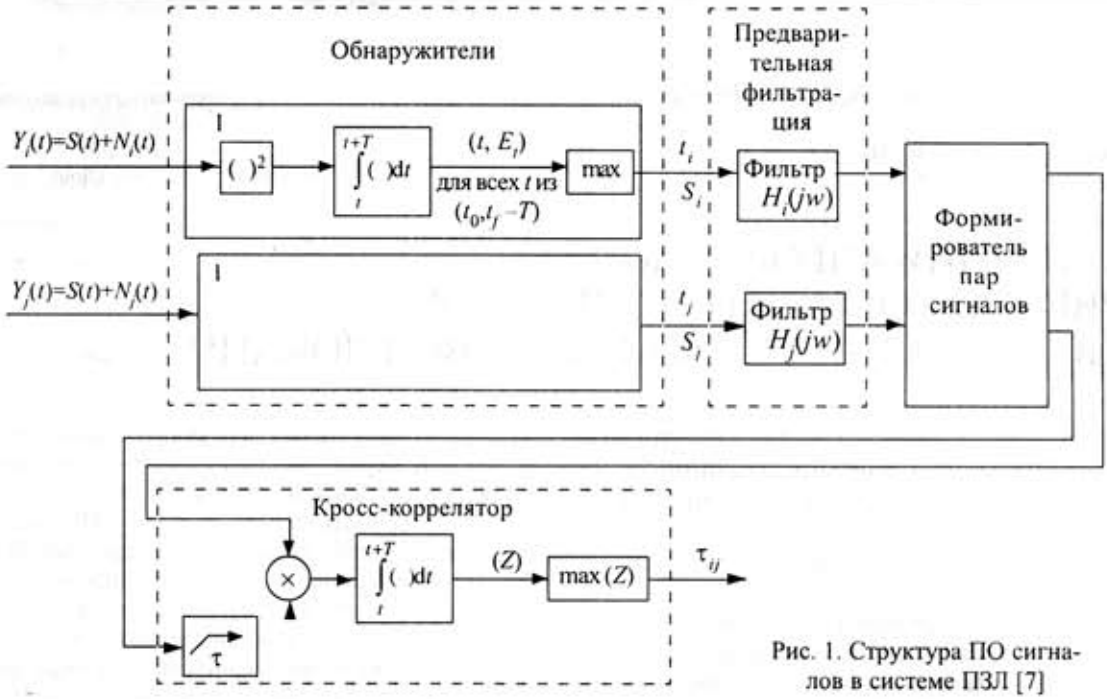


Рис. 1. Структура ПО сигналов в системе ПЗЛ [7]

пользуются их оценки, полученные во время обучения. Однако известные авторам практические реализации алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ представляют собой структуры алгоритмов, вытекающие из модификаций алгоритмов классических оптимальных обнаружителей (максимум функции правдоподобия (МФП)) при упрощающих предположениях относительно законов распределения сигнального и шумового процессов.

Так как главными оцениваемыми параметрами полезных сигналов для алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ являются моменты прихода и задержки сигналов на акустической базе, образуемой двумя пространственно разнесенными звукоприемниками, то наиболее содержательными представляются структуры алгоритмов, основанные на попытках разработчиков применить в системах ПЗЛ алгоритмы оценивателя задержки сигналов по МФП либо их модификации, впервые представленные в работах [5, 6]. Основополагающей работой в этом направлении является [7], причем автор ограничился ссылкой на работу [5] как основу для построения структуры алгоритмов и, мотивируя необходимость упрощений отсутствием необходимых для реализации ресурсов, представил упрощенную практически реализуемую структуру алгоритмов (**рис. 1**). Представленная структура алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ основана на комбинации процедур обнаружителя (применен энергетический обнаружитель в скользящем временном окне, причем обнаружение ведется по максимуму полученных оценок энергии), предварительной фильтрации и кросс-коррелятора. (Здесь $Y_1,...,Y_j$ — входные информационные потоки, E_t — оценки энергии в скользящем временном окне, S_i — выделенные сигналы, t_i — оценки моментов их прихода, t_{ij} — оценки их задержек на акустической базе).

Однако проведенные авторами статьи исследования показали, что главной принципиальной проблемой, с которой сталкивается разработчик, придерживающийся этого направления, является следующее.

Представленные в [5, 6] структуры алгоритмов оценивателя задержки являются обобщенным кросс-коррелятором, основанным на комбинации процедур выбеливающей предварительной фильтрации и кросс-коррелятора (**рис. 2**, S — сигнал, N_1 и N_2 — шумы, τ — оценка задержки). Можно исключить из структур



Рис. 2. Оцениватель задержки сигналов на основе обобщенного коррелятора

оптимального обнаружителя случайного сигнального процесса априорную информацию о сигнальном процессе путем совместной обработки приемной информации двух пространственно-разнесенных приемных каналов при основополагающем предположении, что сигнальный процесс одинаков на обоих приемниках, а также при предположениях, что сигнальный процесс не коррелирован с шумовыми процессами на приемниках, которые, в свою очередь, полагаются взаимно некоррелированными белыми шумовыми процессами. Однако это приводит к структуре обнаружителя на основе кросс-коррелятора. Обобщение структуры обнаружителя на основе кросс-коррелятора на случай небелых нормальных шумовых процессов приводит к структуре обнаружителя на основе комбинации процедуры выбеливающей предварительной фильтрации и кросс-коррелятора (**рис. 3**, $Z_П$ — пороговый уровень, H_1 — гипотеза, при кото-



Рис. 3. Обнаружитель сигналов на основе комбинации процедур предварительной фильтрации и кросс-коррелятора

рой $Y_1=S(t)+N_1(t)$ и $Y_2=S(t)+N_2(t)$, H_0— гипотеза, при которой $Y_1=N_1(t)$ и $Y_2=N_2(t)$). Таким образом, структура оптимального обнаружителя отличается от структуры оптимального оценивателя задержки наличием в структуре оптимального обнаружителя пороговых процедур, реализующих алгоритмы принятия решения об обнаружении. Пороговый уровень обнаружения определяется априорно ожидаемой энергией полезных сигналов, если не акцентировать внимания на непринципиальной для обсуждаемого случая необходимости приведения порогового уровня в соответствие с реализацией процедуры выбеливающей предварительной фильтрации.

Если строго придерживаться предположения об априорной неопределенности случайного сигнального процесса, из которой, в частности, следует априорная неопределенность энергий полезных сигналов, то становится ясным, что для оптимального обнаружителя на основе комбинации процедур предварительной фильтрации и кросс-коррелятора для рассматриваемого сигнального процесса нельзя определить пороговый уровень, обеспечивающий оптимальные характеристики обнаружителя. Поэтому разработчику приходится исключать из структуры алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ пороговые процедуры и вести обнаружение по максимуму взаимно корреляционной функции (ВКФ), при этом резко возрастает вероятность ложных обнаружений. Выход может быть найден либо на пути дополнения концепции комбинации процедур предварительной фильтрации и кросс-корреляции какой-либо новой идеей, либо на пути поиска допустимого упрощения априорного описания сигнального процесса.

Отметим, что в работе [7] автор отказался даже от проведения обнаружения по максимуму ВКФ и применил энергетический обнаружитель в скользящем временном окне, причем в обнаружителе отсутствуют пороговые процедуры (по тем же причинам, что описаны выше) и обнаружение ведется по максимуму полученных оценок энергии (рис. 1).

Как известно, структура энергетического обнаружителя вытекает из классических оптимальных алгоритмов обнаружения при следующих предположениях о сигнальном и шумовом процессах:

— случайный сигнальный процесс является стационарным нормальным с нулевым средним, он не коррелирован с шумовым процессом, достаточно широкополосен, и спектр его мощности допускает равномерную аппроксимацию;

шумовой процесс представляет собой белый шум.

Эти предположения о сигнальном и шумовом процессах применительно к системам ПЗЛ не соответствует реальности, а исключение из структуры энергетического обнаружителя порогового устройства и ведение обнаружения по максимуму оценок энергии в скользящем временном окне приводит к росту ложных обнаружений.

В СКБ «Молния» были разработаны алгоритмы ПО сигналов в системах ПЗЛ на основе комбинации процедур предварительной фильтрации и кросс-коррелятора, реализованных в скользящем временном окне. Эти алгоритмы были воплощены в макете, представляющем собой многопроцессорный спецвычислитель. Проведенные исследования и испытания макета показали, что проблему ложных обнаружений можно решить дополнением концепции комбинации процедур предварительной фильтрации и кросс-корреляции идеей так называемой «пространственной» фильтрации ложных обнаружений, заключающейся в последовательном просеивании обнаружений на нескольких пространственно разнесенных независимых акустических базах (АБ) (**рис. 4**). Однако это приводит к резкому увеличению необходимых аппаратных и вычислительных ресурсов.

Анализ основных структур алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ позволил выделить наиболее перспективные структуры: структуру ПО на основе комбинации процедур предварительной фильтрации, кросс-корреляции и пространственной фильтрации ложных обнаружений (рис. 4) и структуру ПО на основе комбинации процедур адаптивного обнаружения сигналов, предварительной фильтрации и кросс-корреляции (**рис. 5**). Для практической реализации на универсальном вычислителе была выбрана структура квазиоптимальных алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ, основанная на комбинации процедур адаптивного к уровню шума обнаружителя и кросс-коррелятора.

Разработанная структура квазиоптимальных алгоритмов ПО сигналов в системах ПЗЛ, реализованная в виде комплекса программно-математического обеспечения, работающего в реальном масштабе времени на универсальном вычислителе IBM PC 486, представлена на **рис. 6**. В разработанной структуре можно выделить следующие основные этапы обработки:

— прием акустических сигналов звукоприемниками (ЗП) на линейной АБ, преобразование сигналов ЗП в цифровой вид в частотном диапазоне 5—120 Гц, передача сигналов ЗП по линиям связи и буферизованный ввод их в вычислитель (блоки 1 и 2 на рис. 6);

— фильтрация фильтром с полосой пропускания 5—40 Гц (блок 3), оценка уровней шумов и адаптации к ним уровней обнаружительных порогов (блок 4), обнаружение, оценка момента прихода и выделение полезных сигналов в частотной полосе 5—40 Гц (блок 5);

— отсеивание помеховых сигналов баллистической волны, использующее сигнальные фрагменты в диапазоне 5—120 Гц (блоки 6 и 7), и отсеивание других мешающих сигналов (блоки 8 и 9);

— накопление заданного числа выделенных полезных сигналов и временная остановка ввода входной информации (блок 10);

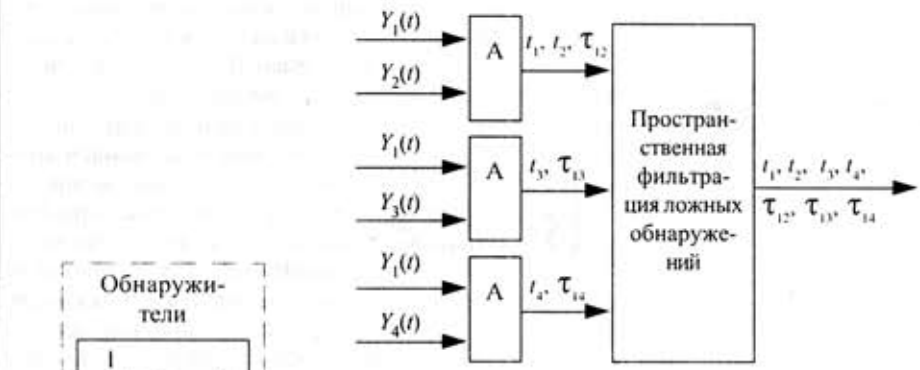


Рис. 4. Структура ПО сигналов в системе ПЗЛ, основанная на комбинации процедур предварительной фильтрации, кросс-корреляции и пространственной фильтрации ложных обнаружений (блок А раскрыт на рис. 3)



Рис. 5. Структура ПО сигналов в системе ПЗЛ, основанная на комбинации процедур адаптивного обнаружения, предварительной фильтрации и кросс-корреляции

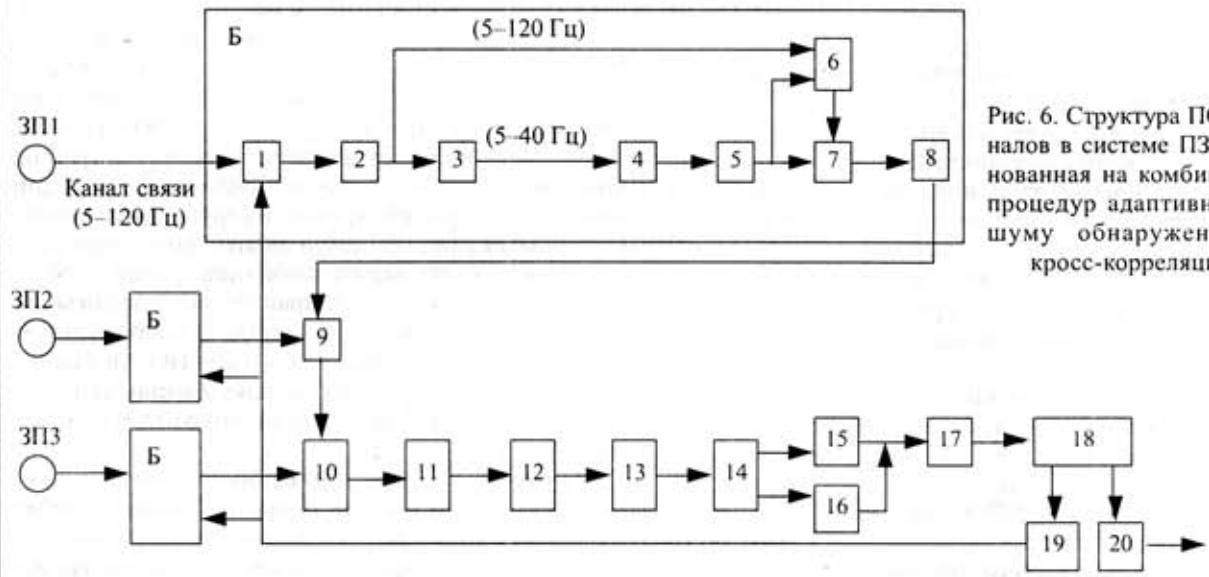


Рис. 6. Структура ПО сигналов в системе ПЗЛ, основанная на комбинации процедур адаптивного к шуму обнаружения и кросс-корреляции

— формирование возможных пар сигналов, соответствующих одному и тому же источнику (блок 11), определение класса выделенных полезных сигналов по их временной и частотной структуре (блок 12), определение класса пары сигнала (блок 13), выделение наиболее вероятной пары сигналов из сформированных пар и определение необходимости взаимнокорреляционной обработки сигналов пары (блок 14);

— оценивание параметров сигналов и взаимнокорреляционное оценивание задержки сигналов (блоки 15 и 16), формирование выходных кодограмм (блок 17) и передача их через выходной буфер (блок 18) на ЭВМ вторичной обработки (блок 20);

— очистка рабочих массивов памяти и инициализация дальнейшего ввода входной информации (блок 19).

Адаптивный обнаружитель реализован на основе измерителя случайных процессов. Уровень обнаружительного порога выбирался на основе критерия Неймана—Пирсона. (Рассмотрение алгоритмов измерителя случайных процессов и обнаружителя составляет предмет отдельной статьи.)

Макет, реализующий представленную структуру алгоритмов квазиоптимальной ПО сигналов в системе ПЗЛ, был испытан в полевых условиях. Результаты испытаний показали, что по основным тактико-техническим параметрам макет удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

***

Таким образом, анализ основных структур алгоритмов первичной обработки сигналов в системах пассивной звуковой локации позволил выделить наиболее перспективные структуры: структуру ПО на основе комбинации процедур предварительной фильтрации, кросс-корреляции и пространственной фильтрации ложных обнаружений и структуру ПО на основе комбинации процедур адаптивного обнаружения сигналов, предварительной фильтрации и кросс-корреляции.

Предложенная авторами структура квазиоптимальных алгоритмов ПО сигналов, основанная на комбинации процедур адаптивного к шуму обнаружителя и кросс-коррелятора и осуществленная в виде комплекса программно-математического обеспечения, работающего в реальном режиме времени на универсальном вычислителе, на сегодняшний день является наиболее приемлемой для практической реализации. Дополнение разработанных алгоритмов в системе пассивной звуковой локации процедурами предварительной фильтрации может быть проведено с переходом на более производительный вычислитель.

В перспективе просматривается доработка обнаружителя представленной структуры ПО сигналов в системе ПЗЛ, т. е. адаптация обнаружителя не только к шумовому, но и к сигнальному процессу, и, таким образом, эволюционный переход к полноценному адаптивному обнаружителю.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Болтенков В. А., Чариков А. Н., Шевченко Ю. В. Аппаратура пассивной звуковой локации: состояние, проблемы, перспективы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 1997.— № 3.— С. 58—61.

2. Tarasov V., Boltenkov V., Kropachev D. Algorithms of signal processing in passive sound ranging systems and their practical realization // Proceedings of the Fourth ALL-Ukrainian International Conference "Signal/Image Processing and Pattern Recognition-UkrOBRAZ'98", Kyjiv.— 1998.— P. 141—142.

3. Сосулин Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов.— М.: Сов. радио, 1978.

4. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем.— М.: Сов. радио, 1977.

5. Knapp C. H., Carter G. C. The generalized correlation method for estimation of time delay // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing.— August 1976.— Vol. ASSP-24, N 4.— P. 320—326.

6. Carter G. C. Time delay estimation for passive sonar signal processing // Ibid.— June 1981.— Vol. ASSP-29.— P. 463—470.

7. Ludeman L. C. Multisignal time difference estimator with application to the sound ranging problem // Proceedings of ICASSP-90.— 1990.— P. 800—803.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ

17—20 апреля 2002 · Москва · СК «Олимпийский»



mera 2002

Measuring & Automation

Факс: (095) 935-7351

3-я Московская международная выставка
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Статистическая оценка трудозатрат изготовления коммутационных плат радиоэлектронных средств. *А. А. Ефименко, А. В. Голубев, А. С. Кондрашов (Украина, г. Одесса)*
- Акустооптическое устройство управления потоком данных систем оптической памяти с побитовым представлением информации. *В. В. Данилов (Украина, г. Донецк)*
- Некоторые перспективные технологии производства полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. *В. В. Курак, В. В. Цыбуленко, В. Л. Агбомассу (Украина, г. Херсон)*
- Особенности разработки датчиков давления на ПАВ для АЭС. *Я. И. Летих, В. К. Лопушенко, Н. Г. Черняк, Ю. Е. Николаенко (Украина, г. Одесса, г. Киев)*



- Технология изготовления красителей для лазеров с перестраиваемой длиной волны в диапазоне 472—600 нм. *В. П. Кругленко, И. Е. Марончук, М. В. Повстяной (Украина, г. Херсон)*
- Размерно-геометрические параметры моделей микроструктуры толстых резистивных пленок. *А. В. Стерхова (Россия, г. Ижевск)*
- Исследование методов построения вычислительных устройств на основе FPGA. *В. И. Жабин, Н. А. Ковалев (Украина, г. Киев)*

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

К. т. н. В. В. ДАНИЛОВ

Украина, г. Донецк, НИИ комплексной автоматизации
E-mail: danilov@dongu.donetsk.ua

Дата поступления в редакцию
31.07 2001 г.

Оппоненты
к. ф.-м. н. С. П. СЕРГИЕНКО (ДонНУ, г. Донецк),
к. ф.-м. н. В. П. САВЧУК (ОНПУ, г. Одесса)

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗУПЛОТНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Представлено устройство спектрального разуплотнения данных каналов межблочной связи оптических вычислительных средств на основе коллинеарной акустооптической ячейки.

Спектральное уплотнение (частотное уплотнение в оптическом диапазоне) позволяет использовать всю оптическую полосу пропускания световода. Основываясь на опыте таких работ, можно утверждать, что существуют ситуации, когда спектральное уплотнение оказывается предпочтительнее по сравнению с другими видами (например, в сетях межблочной связи оптических вычислительных средств при реализации тракта на световодах с допустимой скоростью передачи 10 Гбит/с на одной оптической несущей).

Хорошо известно, что современная электронная коммутационная техника еще как-то "справляется" с импульсами не короче 1 нс, а имеющиеся электронные терминалы работают на скорости передачи не более 1 Гбит/с. При скорости 10 Гбит/с требуется дорогостоящая разработка электронных средств уплотнения и разуплотнения, причем проблемы возникнут на стадии подбора соответствующей полупроводниковой элементной базы. Несмотря на широкое распространение волоконных световодов (ВСв) со ступенчатым профилем показателя преломления, параметр широкополосности у них мал. Поэтому при использовании одной оптической несущей никакой из известных радиоэлектронных принципов уплотнения не поможет передать по такому световоду большой поток информации.

Критерий спектрального разрешения

В оптической спектроскопии линии считаются разрешенными, если удовлетворяется критерий Рэлея [1, с. 102]. В элементах оптической связи оптических вычислительных средств (ОВС) этого недостаточно. Во-первых, при разделении линий (см. **рис. 1**) необходимо как можно полнее собрать энергию от каждой из них (заштриховано), поскольку для высокопрозрачных современных ВСв каждый децибел потерянной мощности эквивалентен уменьшению длины линии связи. Во-вторых, доля энергии от соседней линии (область двойной штриховки) должна быть очень малой, что определяет низкий уровень перекрестных помех между каналами. В-третьих, желателен минимальный частотный интервал между оптическими несущими для более полного использования полосы пропускания ВСв. В-четвертых, оптические элементы межблочной связи ОВС должны иметь малые массу, габариты и энергозатраты.

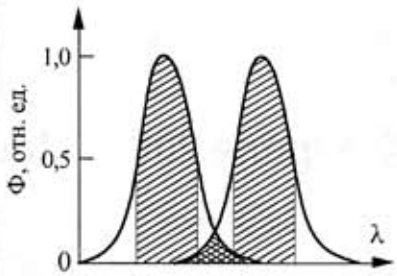


Рис. 1. Спектральное распределение мощности двух оптических несущих

В оптической спектроскопии для разделения линий предназначены монохроматоры, как правило, имеющие большие габариты, что обусловлено стремлением к высокому спектральному разрешению. Поскольку в оптической связи частотные интервалы между несущими составляют не менее 10 нм [2], малогабаритные делители каналов могут быть выполнены по аналогии с применяемыми в спектроскопии. Ближе всего делители каналов стоят к полихроматорам — спектральным приборам для одновременной селекции и регистрации многих линий. Уровень выходного сигнала фотоприемников пропорционален принимаемой мощности оптического сигнала. Поэтому при заданном максимальном уровне перекрестных помех по мощности порядка 40 дБ достаточно снизить перекрестные помехи оптического сигнала в делителе каналов до 20 дБ. И хотя нормативно-технической документации, регламентирующей эти соображения, нет, они хорошо согласуются с мнением отечественных и зарубежных специалистов [3, с. 161; 4, с. 104].

Математическая модель коллинеарной акустооптической ячейки

Основываясь на физике акустооптического взаимодействия (АОВ) в анизотропных средах [5; 6, с. 43], можно утверждать, что световые волны разной поляризации имеют разные фазовые скорости. Поэтому когда при дифракции происходит поворот плоскости поляризации световой волны, характер дифракции существенно меняется. При анизотропной дифракции

Брэгга угол падения света (Θ_i) определяется из выражения [5]

$$\sin\Theta_i = \frac{\lambda_0}{2n_i\Lambda}\left[1+\left(\frac{\Lambda}{\lambda_0}\right)^2(n_i^2-n_d^2)\right] = \frac{\lambda_0\Omega}{2n_iV}\left[1+\frac{V^2}{\Omega^2\lambda_0^2}(n_i^2-n_d^2)\right], \quad (1)$$

где λ_0 и Λ — длина волны света в вакууме, акустической волны;

n_i и n_d — показатели преломления входного и дифрагировавшего световых пучков;

V и Ω — скорость и частота акустической волны.

Угол отклоненного светового пучка (Θ_d) в этом случае не равен углу Брэгга и определяется из соотношения [5]

$$\sin\Theta_d = \frac{\lambda_0}{2n_d\Lambda}\left[1-\left(\frac{\Lambda}{\lambda_0}\right)^2(n_i^2-n_d^2)\right] = \frac{\lambda_0\Omega}{2n_dV}\left[1-\frac{V^2}{\Omega^2\lambda_0^2}(n_i^2-n_d^2)\right]. \quad (2)$$

Зависимость углов Θ_d и Θ_i от частоты акустической волны Ω для случая $n_i > n_d$ представлена на **рис. 2**, из которого видно, что при анизотропной дифракции существует минимальная частота акустической волны — Ω_x, ниже которой дифракция с поворотом плоскости поляризации становится невозможной.

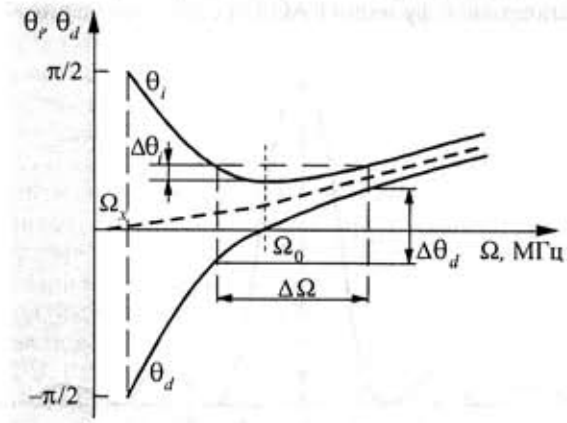


Рис. 2. Углочастотные характеристики дифракции при анизотропном акустооптическом взаимодействии

Формально Ω_x определяется как

$$\Omega_x = \frac{V}{\lambda_0}(|n_i - n_d|) \approx \frac{V}{\lambda_0}|\Delta n|. \quad (3)$$

Согласно графическому виду зависимости рис. 2, при изменении акустической частоты вблизи Ω_0 угол Брэгга меняется незначительно, в то время как угол дифракции Θ_d изменяется в широких пределах. Важной особенностью анизотропной дифракции является возможность коллинеарного акустооптического взаимодействия (КАОВ), при котором волновые векторы падающего и дифрагировавшего световых пучков параллельны и направлены в одну сторону. Такое АОВ возможно в анизотропных средах, если частота акустической волны определяется выражением (3). Формальное описание процесса КАОВ рассмотрим на примере акустооптической ячейки с коллинеарным акустооптическим взаимодействием (КАОЯ), структурные элементы которой показаны на **рис. 3**, где *1* — поляризатор (призма Глана); *2* — светозвукопровод; *3* — пьезопреобразователь продольной акустической волны.

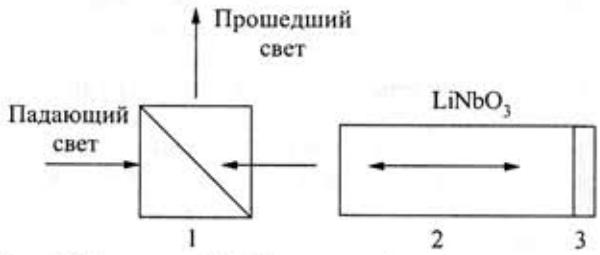


Рис. 3. Структура КАОЯ на стоячей акустической волне

Уравнение движения для компонент электрического поля $\vec{E}$ оптических волн в среде взаимодействия запишем в форме [1, с. 8]

$$\nabla^2\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}(n^2\vec{E}), \quad (4)$$

где c — скорость света в вакууме;

n — показатель преломления среды взаимодействия.

Из уравнения (4) для коллинеарной АОЯ следует система уравнений связанных волн:

$$\begin{cases} \frac{dE_x}{dy} = j\frac{n_i n_d^2 p_{эф}^2\omega}{4c}SE_z\exp(j\Delta ky); \\ \frac{dE_z}{dy} = j\frac{n_i n_d^2 p_{эф}^2\omega}{4c}S^*E_x\exp(-j\Delta ky), \end{cases}$$

где $p_{эф}$ — эффективная фотоупругая константа;

ω — частота света;

S — упругая деформация;

$\Delta k = k_i - k_d - K$;

Δk — рассогласование волновых чисел;

k_i, k_d, K — волновое число падающей, дифрагировавшей и акустической волны, соответственно;

S^* — величина, комплексно сопряженная деформации S.

Решение системы с учетом граничных условий (E_x=0, $E_z(0)=E_z^0$) позволяет найти акустооптическую эффективность дифракции в виде

$$\frac{I_d}{I_i} = \Gamma^2L^2\frac{\sin^2(L^2\Gamma^2+\Delta k^2L^2/4)^{1/2}}{L^2\Gamma^2+\Delta k^2L^2/4}, \quad (5)$$

$$\Gamma^{-2} = \frac{(n_i n_d p_{эф})^2\pi^2}{4\lambda_0^2}|S^2| = \frac{n_i^3 n_d^3 p_{эф}^2\pi^2}{2\rho V^3\lambda_0^2}\left(\frac{P_a}{A}\right), \quad (6)$$

где ρ — плотность;

P_a/A — плотность мощности акустической волны в среде АОВ.

Из выражения (5) следует, что при фазовом синхронизме волновых векторов, т. е. при Δk=0, I_d/I_i = =$\sin^2\Gamma L$, т. е. для получения 100%-ной эффективности дифракции необходимо выполнение условия

$$\Gamma L = \pi/2, \quad (7)$$

откуда плотность мощности акустической волны равна

$$P_a/A = \lambda_0^2/(2L^2M_{эф}), \quad (8)$$

где $M_{эф} = n_i^3 n_d^3 p_{эф}^2/(\rho V^3)$ — акустооптическая добротность среды АОВ коллинеарной акустооптической ячейки.

Полученное выражение не учитывает изменения плотности мощности при распространении акустической волны по светозвукопроводу, связанного с ее расходимостью, вязким поглощением и другими причинами.

Важной характеристикой процесса КАОВ является полоса пропускания, которая по уровню 0,5 (без учета дисперсии показателя преломления среды акустооптического взаимодействия) определяется как [6, с. 53]

$$\Delta\lambda=5\lambda_0^2/(2\pi\Delta nL), \qquad (9)$$

где $\Delta n=n_i-n_d$.

Несложный расчет показывает, что с учетом дисперсии уравнение (9) можно переписать в виде

$$\Delta\lambda=\frac{5\lambda_0^2}{2\pi L\left(\Delta n+\lambda_0\frac{\partial\Delta n}{\partial\lambda_0}\right)}. \qquad (10)$$

Дисперсия показателя преломления в зависимости от типа среды АОВ может характеризовать как увеличение, так и уменьшение полосы пропускания. Затухание и расходимость акустической волны увеличивает полосу пропускания КАОВ.

Одной из основных характеристик КАОВ является диапазон перестройки оптических волн, соответствующих диапазону частот акустических волн. Как показали экспериментальные исследования КАОЯ, граница диапазона определяется двумя факторами [7]: областью оптической прозрачности среды АОВ; широкополосностью цепи возбуждения акустической волны.

Частота акустической волны может быть найдена из условия синхронизма при коллинеарном АОВ в виде

$$\Omega_k=(V/\lambda_k)(n_i-n_d). \qquad (11)$$

Таким образом, задавшись крайними значениями длины волны света видимого диапазона для конкретной среды АОВ, находим граничные частоты диапазона акустических частот.

Другой важной характеристикой КАОЯ является величина ослабления оптического излучения вдали от центра полосы пропускания. Из (5) следует зависимость акустооптической эффективности от расстройки Δk, которая подчиняется функции вида $(\sin x/x)^2$, характеризующейся наличием боковых максимумов убывающей амплитуды. Очевидно, что при значительных расстройках акустооптическая эффективность в боковом максимуме имеет вид

$$(I/I_d)_N=2/[\pi^2(2N+1)^2], \qquad (12)$$

где N — относительная расстройка, нормированная к полосе пропускания КАОЯ по уровню 0,5.

Отсюда следует, что требуемое ослабление принципиально возможно за пределами полосы, определяемой (12). Экспериментальные исследования показали, что реальное ослабление зависит от качества используемого поляризатора.

Следующей важной характеристикой КАОЯ является ее угловая апертура. Как показано в работе [8], полная входная апертура коллинеарной акустооптической ячейки с погрешностью, приемлемой в оценочных расчетах, и с учетом преломления света на входной грани среды акустооптического взаимодействия имеет вид

$$\Psi=2n_i(\lambda_0/L\Delta n)^{1/2}. \qquad (13)$$

Далее определимся в терминах.

Основываясь на работе [9], по-видимому, целесообразно признать, что акустооптическая ячейка, использующая эффект акустооптического взаимодействия селекции оптических сигналов, является основным структурным элементом акустооптического устройства, реализующего селекцию оптических сигналов. Оптическое модуляционное устройство на основе фотоупругого эффекта, предназначенное для селекции входных оптических сигналов по частоте, реализующее преобразование энергии и частоты управляющего радиосигнала, поступающего на его радиовход, в энергию и частоту оптического сигнала на выходе, предлагается назвать *акустооптическим фильтром* (АОФ).

Акустооптический разуплотнитель данных

Число информационных каналов и быстродействие оптической линии связи. Идеализированный вид аппаратной функции КАОЯ представлен на **рис. 4**.

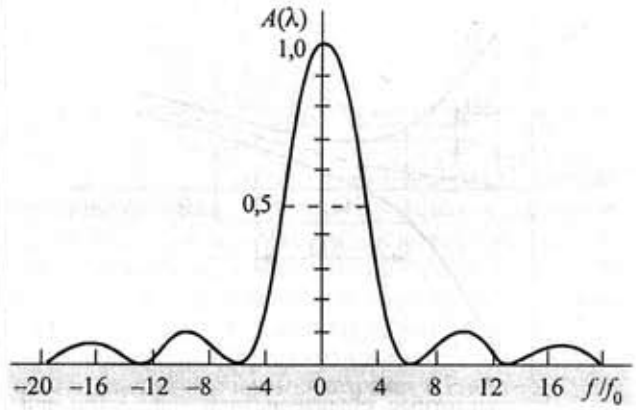


Рис. 4. Идеализированная аппаратная функция КАОЯ [10]

Быстродействие волоконно-оптической линии связи ограничено дисперсионными свойствами передающей среды (волокна), приводящих к "размытию" формы передаваемого импульса излучения. В одномодовых ВСв это обусловлено зависимостью групповой скорости от длины волны. В многомодовых ВСв это приводит к межмодовой дисперсии, которая возрастает пропорционально спектральной ширине оптического сигнала источника [4, с. 28]. В первом приближении уширение импульса обусловлено материальной дисперсией ВСв, пропорциональной $\frac{\lambda}{c}\frac{\partial^2 n}{\partial\lambda^2}$. Увеличению быстродействия препятствует и волноводная дисперсия. В одномодовом ВСв материальная дисперсия является определяющим фактором, превосходящим дисперсию, определяемую размерными эффектами световода. Коэффициент широкополосности (произведение длины линии на ширину полосы) определяет предельное быстродействие данной линии передачи. Этот параметр введен для слу-

чая передачи на одной оптической несущей и характеризует предельную широкополосность сигнала, модулирующего оптическую несущую, который может быть передан этой линией на расстояние 1 км без искажений. Очевидно, что этот же параметр, связанный с частотой модуляции, устанавливает связь и предельную скорость передачи информации. Так как частота модуляции не может превышать частоты несущей, то этот параметр и определяет наибольшее быстродействие.

Таким образом, скорость передачи данных $1/T$, где T — временная полуширина передаваемого импульса, для оптических систем связи ограничена рядом факторов: быстродействием источника оптического сигнала или частотой модуляции, дисперсией среды распространения, быстродействием переключателя каналов, быстродействием фотоприемников.

Расчеты показывают, что если спектральная полоса пропускания километрового отрезка ВСв составляет 0,5...1,8 мкм, что соответствует предельному быстродействию $2{,}5\cdot10^5$ Гбит/с, то дисперсия среды ограничивает эту величину до 250 Гбит/с. Предельная частота следования импульсов лазерных источников составляет 10^3 ГГц. Достигнутая скорость переключения каналов механическими устройствами составляет 2,5 кГц, акустооптических ячеек в режиме временного разуплотнения — до 1,5 ГГц, электрооптических переключателей — до 300 МГц. Быстродействие серийных фотоэлектронных умножителей составляет ~200 ГГц. Приведенные оценки быстродействия элементов систем оптической связи показывают, что самыми инерционными являются переключатели.

При использовании КАОЯ в качестве переключателя быстродействие его будет определяться временем пробега фронта акустической волны по среде АОВ. Если длина среды акустооптического взаимодействия составляет ~20 см при скорости акустической волны 5750 м/с, время заполнения среды АОВ акустической волной составит $\tau=L/V=35$ мс. Таким образом, предельная скорость посылки импульса акустической волны с другой частотой заполнения не превышает $\tau^{-1}=28{,}6$ кГц. Отсюда следует, что предельная скорость произвольного переключения информации из канала в канал с помощью КАОЯ при использовании светозвукопровода со скоростью акустической волны 5750 м/с не превышает 29 Кбит/с.

Метод расчета числа коммутируемых КАОЯ каналов связи [7]. Спектральное уплотнение каналов в элементах связи ОВС ставит задачу их последующего разуплотнения на стороне потребителя информации. Для оценки числа каналов, разуплотняемых акустооптическим фильтром, рассмотрим следующую модель.

Пусть в интервале рабочих длин волн от λ_{min} до λ_{max} равномерно размещены K каналов и спектральная ширина каждого составляет $\Delta\lambda$. Для упрощения предположим, что спектральная плотность интенсивности каналов постоянна и равна P. Для характеристики используемого АОФ примем следующие обозначения: $A(\lambda)$ — аппаратная функция фильтра; $\delta\lambda$ — ширина полосы пропускания по уровню 0,5; m — оптический контраст фильтра в предположении 100% -ной акустооптической эффективности пропускания. Кроме того, зададим допустимое значение перекрестных искажений, т. е. введем максимальное отношение энергии, поступающей потребителю от всех боковых лепестков, к энергии, регистрируемой при приеме данного канала, — β_{max}.

Рассмотрим случай, когда $\Delta\lambda\geq\delta\lambda$. Это условие обычно реализуется на практике, когда в качестве источника когерентного излучения используется полупроводниковый инжекционный лазер, ширина полосы излучения которого составляет несколько нанометров, тогда как ширина полосы пропускания АОФ составляет несколько ангстрем [6, с. 46].

При настройке КАОЯ на один из каналов интенсивность излучения, пропущенного фильтром, составляет

$$I=P\delta\lambda(I_d/I_i). \qquad (14)$$

Интенсивность излучения одного из боковых каналов, отстоящего от измеряемого канала, при прохождении через КАОЯ определяется контрастом последней и равна [11]

$$I'=P\Delta\lambda m. \qquad (15)$$

Вблизи измеряемого канала интенсивность излучения боковых каналов, прошедших через фильтр, определяется аппаратной функцией $A(\lambda)$. Наибольший вклад боковые каналы вносят при совмещении их с боковыми максимумами аппаратной функции. Для оценки этого вклада необходимо учесть спад максимумов функции $A(\lambda)$, вплоть до значения m, после которого расчет ведется согласно (15). Из вида $A(\lambda)$ следует, что по мере удаления от центра полосы пропускания КАОЯ боковые максимумы аппаратной функции спадают как $1/(1{,}7N^2)$, где N — расстояние от центра полосы, нормированное к величине $\delta\lambda$. Отсюда следует, что вклад боковых каналов, определяемых функцией $A(\lambda)$, необходимо учитывать в пределах спектрального интервала, отстоящего от центра пропускания на $\pm N_{max}\delta\lambda$, где N_{max} определяется из соотношения $(I_d/I_i)/(7{,}5N^2_{max})=m$, так что вышеупомянутый интервал составляет $\dfrac{2\delta\lambda\sqrt{I_d/I_i}}{\sqrt{7{,}5m}}$. Поскольку расстояние между каналами составляет $(\lambda_{max}-\lambda_{min})/K$, то число каналов внутри рассматриваемого интервала равно $\dfrac{2\delta\lambda\sqrt{I_d/I_i}K}{\sqrt{7{,}5m}(\lambda_{max}-\lambda_{min})}=2M$. Очевидно, что вклад каждого из этих каналов в величину перекрестных искажений не превышает величины

$$I''=P\Delta\lambda\frac{K^2(\delta\lambda)^2(I_d/I_i)}{7{,}5i^2(\lambda_{max}-\lambda_{min})^2}, \qquad (16)$$

где i — порядковый номер бокового канала при начале отсчета после измеряемого канала.

Суммируя интенсивность излучения, соответствующую всем боковым каналам, получим полную величину интенсивности перекрестных помех:

$$I_n = 2\sum_{i=1}^{i=M} I'' + (K-2M-1)I' = 2\sum_{i=1}^{i=M} P\Delta\lambda \frac{K^2(\delta\lambda)^2(I_d/I_i)}{7{,}5i^2(\lambda_{max}-\lambda_{min})^2} + $$

$$+(K-2M-1)P\Delta\lambda m\,. \qquad (17)$$

Учитывая допустимое значение перекрестных искажений

$$(I_n/I)\le\beta_{max}\,, \qquad (18)$$

выражение (18) перепишем в виде

$$2\sum_{i=1}^{i=M}\frac{K^2\delta\lambda\Delta\lambda}{7{,}5i^2(\lambda_{max}-\lambda_{min})^2}+(K-2M-1)\frac{\Delta\lambda m}{\delta\lambda(I_d/I_i)}\le\beta_{max}. \qquad (19)$$

Сделав допущение вида $M<<K$ и $\sum_{i=1}^{i=M} i^2 = 1{,}5$, из уравнения (19) получим:

$$\frac{\delta\lambda(I_d/I_i)}{2{,}5(\lambda_{max}-\lambda_{min})^2}K^2+\frac{m}{\lambda}K-\frac{(I_d/I_i)\beta_{max}}{\Delta\lambda}=0. \qquad (20)$$

Решение (20) дает допустимое значение числа каналов, разуплотняемых АОФ, при условии принятых ограничений. Например, при $\beta_{max}=4\cdot10^{-2}$ (14 дБ); $\lambda_{max}-\lambda_{min}=4000$ Å; $\Delta\lambda=20$ Å; $\delta\lambda=2$ Å; $m=1{,}5\cdot10^{-5}$; $(I_d/I_i)=0{,}6$ следует, что число каналов, разуплотняемых АОФ, равно $K=110$.

Экспериментальное исследование КАОЯ

Структура установки, моделирующей линию связи ОВС, показана на **рис. 5**. Здесь *1* — лазер ЛГ-70; *2* — металлические зеркала; *3* — лазер ЛГ-44; *4* — механический модулятор-обтюратор; *5* — устройства управления АОФ; *6* — диэлектрическое полупрозрачное зеркало; *7* — поляризаторы пленочные; *8* — коллинеарные АОЯ; *9* — фотодиоды ФД-9Э111; *10* — собирающие линзы; *11* — поляроид типа призмы Глана; *12* — осциллограф С1-68; *13* — осциллограф С1-72.

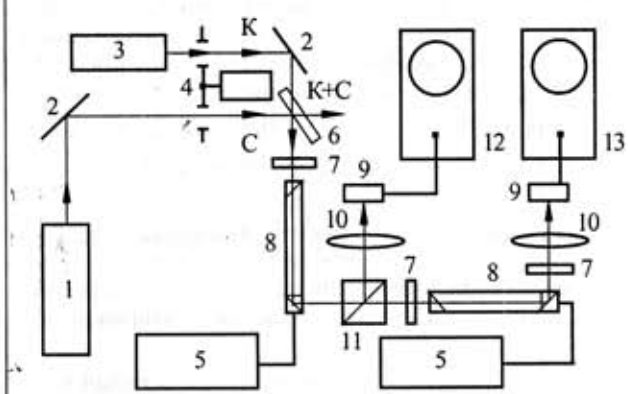


Рис. 5. Блок-схема макета оптической линии связи

Тракт источника оптических сигналов сформирован с помощью двух лазеров с длиной волны 0,63 и 0,44 мкм, пучки которых объединены с помощью зеркал. Механический обтюратор предназначен для прерывания красного луча с частотой 1 кГц, синего — с частотой 0,5 кГц. С помощью акустооптических фильтров произвольно выделялся любой из каналов. Для оценки уровня перекрестных помех измерялся контраст обоих АОФ, он составлял $4{,}5\cdot10^{-4}$ и $3\cdot10^{-4}$. При этом получены следующие значения максимального и минимального сигналов, измеренные в первой КАОЯ для красного и синего лучей, соответственно, при установке поляризаторов параллельно и перпендикулярно друг другу: 37,8 мВ и 17 мкВ, 50 мВ и 15 мкВ. Выделение первым АОФ красного либо синего лучей осуществлялось подачей на него управляющего радиосигнала частотой 82 либо 122 МГц. Значения зарегистрированных сигналов на частотах модуляции 0,5 и 1 кГц составили соответственно 3 и 2 мВ, что соответствует акустооптической эффективности 8 и 4%. Уровни перекрестных помех составляли $5\cdot10^{-3}$ и $8{,}5\cdot10^{-3}$ для красного и синего лучей, или 23 и 21 дБ, соответственно. Очевидно, что увеличение акустооптической эффективности позволит еще в большей степени подавить перекрестные помехи.

Определение аппаратной функции КАОЯ

Предел спектрального уплотнения каналов определяется максимальным уровнем перекрестных помех. Применение КАОЯ в качестве разуплотнителя накладывает специфические требования на спектральное уплотнение, поскольку перекрестные помехи оказываются связанными, во-первых, контрастом КАОЯ (оптический контраст характеризует отношение сигналов на выходе АОФ с полезной и паразитной поляризацией), во-вторых, наличием боковых лепестков аппаратной функции КАОЯ.

Анализ работы спектрального разуплотнителя на основе КАОЯ показал, что количество разуплотняемых каналов определяется, с одной стороны, диапазоном рабочих длин волн ($\lambda_{max}-\lambda_{min}$), спектральной шириной разуплотняемых каналов $\Delta\lambda$ и допустимым уровнем перекрестных помех β_{max}, а с другой стороны, такими параметрами как акустооптическая эффективность I_d/I_i, оптический контраст m, ширина полосы пропускания $\delta\lambda$.

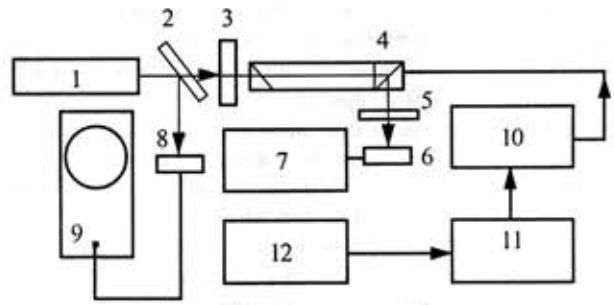


Рис. 6. Структура установки для метрологического контроля аппаратной функции АОФ

Оценка соответствия реальной аппаратной функции АОФ ее теоретическому представлению (рис. 4) производилась на установке, структура которой показана на **рис. 6**. (Здесь *1* — газовый лазер; *2* — полупрозрачное зеркало; *3, 5* — поляризатор и анализатор; *4* — коллинеарная акустооптическая ячейка; *6, 8* — фотоприемники; *7* — универсальный вольтметр; *9* — осциллограф С1-99; *10* — широкополосный усилитель мощности управляющего радиосигнала; *11* — генератор Г4-107; *12* — импульсный генератор Г5-54.)

На КАОЯ подавался сигнал от генератора *11* через усилитель мощности *10*. Уровень пропускания кол-

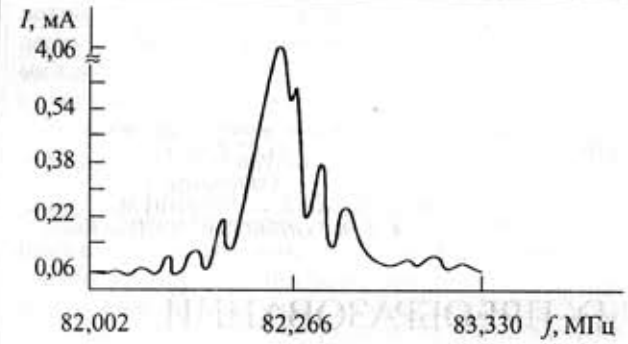


Рис. 7. Реальная аппаратная функция КАОЯ

линеарной акустооптической ячейки, соответствующий разным частотам управляющего радиосигнала, регистрировался одновременно с регистрацией уровня входного излучения лазера (элементы *8*, *9*), что учитывалось при последующем построении $A(\lambda)$. Как видно из графика **рис. 7**, величина боковых максимумов уменьшается по мере удаления от центра полосы пропускания, однако степень спадания величины боковых максимумов не соответствует зависимости $1/(7{,}5N^2)$, а существенно слабее. Отсюда следует, что при инженерных расчетах полного числа разуплотняемых каналов или уровня перекрестных помех необходимо исходить из учета реальной аппаратной функции КАОЯ.

Заключение

Эффективное использование широкополосности волоконно-оптических линий межблочной связи оптических вычислительных средств возможно только с применением соответствующего уплотнения (разуплотнения). Как один из путей, позволяющих повысить скорость передачи данных до 10 Гбит/с на одной оптической несущей, рассматривается спектральное уплотнение.

Предложен критерий спектрального разрешения потоков данных в ВОЛС, основу которого составляет утверждение, что при заданном уровне перекрестных помех по мощности порядка 40 дБ достаточно снизить перекрестные помехи устройства деления (объединения) каналов на 20 дБ.

Как один из физических эффектов, потенциально пригодный для спектрального разуплотнения (уплотнения), рассмотрено акустооптическое взаимодействие в анизотропных средах, в частности, коллинеарное, в физически реализуемой модели — коллинеарной акустооптической ячейке. Предложена математическая модель КАОЯ. Рассмотрены характеристики ячейки, в частности, определены диапазон перестройки по свету КАОЯ, ее полоса пропускания (9), частоты акустических волн, соответствующих перекрытию диапазона перестройки (11).

Исследованы возможности модели акустооптического разуплотнителя на основе КАОЯ, в частности, при использовании среды акустооптического взаимодействия со скоростью акустической волны 5750 м/с, определена его производительность произвольного выбора спектрального канала в 28 Кбит/с, предложен метод расчета числа коммутируемых каналов таким разуплотнителем.

На макете, моделирующем открытую линию связи в оптических вычислительных средствах, исследована модель спектрального разуплотнителя на основе КАОЯ. Показано, что применение ячейки в качестве разуплотнителя накладывает специфические требования на уплотнение, т. к. перекрестные помехи связаны с контрастом и наличием боковых лепестков аппаратной функции КАОЯ. Установлено, что количество разуплотняемых каналов определяется диапазоном рабочих длин волн (λ_{max}–λ_{min}), спектральной шириной разуплотняемых каналов $\Delta\lambda$ и допустимым уровнем перекрестных помех β_{max}, а также такими параметрами как акустооптическая эффективность I_d/I_i, оптический контраст m, ширина полосы пропускания $\delta\lambda$ ячейки.

Предложен метод и структура аппаратных средств определения аппаратной функции КАОЯ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Горбань І. С. Оптика.— Київ: Вища школа, 1972.

2. Данилов В. В., Роганов Л. М. Соотношение сигнал—помеха в каналах ВОЛС на основе акустооптической ячейки для оптоэлектронных вычислительных средств // Тез. докл. VI междунар. науч.-техн. конф. «ВОЛСПИ-95».— Запорожье.— 1995.— С. 36—37.

3. Гауэр Дж. Оптические системы связи.— М.: Радио и связь, 1989.

4. Шереметьев А. Г. Когерентная оптическая связь.— М.: Радио и связь, 1991.

5. Данилов В. В. Акустооптические дефлекторы систем оптической памяти с побитовым представлением информации // Радиотехника (Всеукр. науч.-техн. сб.).— 2000.— № 116.— С. 125—132.

6. Клудзин В. В. Физические основы построения акустооптических устройств.— Л.: Изд-во Ленингр. ин-та авиац. приборостроения, 1980.

7. Данилов В. В. Акустооптическое разуплотнение потоков данных // Тр. II междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии».— Одесса.— 2001.— С. 155—156.

8. Данилов В. В., Роганов Л. М., Чуркин А. В. Акустооптические элементы межблочной волоконно-оптической связи для высокопроизводительных вычислительных средств // Тез. докл. VI междунар. науч.-техн. конф. «ВОЛСПИ-95».— Запорожье.— 1995.— С. 32—35.

9. Данилов В. В. Классификационный анализ устройств управления лазерным пучком // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2000.— № 2—3.— С. 52—57.

10. Harris S. E., Nieh S. T. K., Winslow D. R. Electronically tunable acousto-optical filter // Applied Physics Letters.— 1969.— Vol. 15, N 10.— P. 325—326.

11. Harris S. E., Nieh S. T. K., Feigelson R. S. $CaMoO_4$ electronically tunable optical filter // Ibid.— 1970.— Vol. 17, N 5.— P. 223—225.

К. т. н. В. С. СИТНИКОВ, П. В. СТУПЕНЬ, И. Л. КУЦАК

Украина, Одесский нац. политехнический университет
E-mail: sitnv@promel.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию
11.07 2001 г.

Оппоненты
П. А. МЕРЖВИНСКИЙ (НИИ МП, г. Киев),
А. А. ВОРОНЬКО (ИК НАНУ, г. Киев)

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СХЕМЫ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА

Рассмотрен алгоритм вычисления коэффициентов структуры цифрового фильтра в пространстве состояний по заданной структуре реализации.

В работе [1] описана методика поиска наилучшей структуры реализации цифрового фильтра (ЦФ) по критерию минимума уровня выходного шума округления из числа наиболее используемых структур. Для улучшения этого критерия структуры реализации ЦФ рекомендуется использовать методику в пространстве состояний [2—6].

Описание в пространстве состояний представляет собой мощный метод, позволяющий с единых позиций рассматривать многие принципы теории систем. Цифровая система в пространстве состояний описывается системой уравнений [2]

$$x(n+1) = A \cdot x(n) + b \cdot u(n);$$
$$y(n) = c \cdot x(n) + d \cdot u(n), \quad (1)$$

где размеры матриц A, b, c и d равны соответственно $N\times N$, $N\times 1$, $1\times N$, 1×1, $x(n)=[x_1(n)...x_N(n)]^T$ представляет собой вектор состояний (N — порядок фильтра), $u(n)$ и $y(n)$ — соответственно входная и выходная последовательности.

При этом передаточная функция системы определяется из соотношения

$$H(z)=c(z\cdot I - A)^{-1}\cdot b+d, \quad (2)$$

где z — комплексная переменная Z-преобразования;
I — единичная матрица, размер которой равен размеру матрицы A.

Задавшись произвольной не сингулярной $N\times N$-матрицей T, можно осуществить преобразование подобия, заменив элементы множества $\{A, b, c\}$ таким образом:

$$A_1=T^{-1}\cdot A\cdot T,\ b_1=T^{-1}\cdot b,\ c_1=c\cdot T^{-1}.$$

Такое преобразование не приводит к изменению передаточной функции $H(z)$, поэтому выбирая различные матрицы T можно получить неограниченное число различных вариантов реализации заданной передаточной функции; при этом такие характеристики системы как коэффициенты масштабирования во внутренних узлах, условия возникновения переполнения, шум округления могут изменяться от реализации к реализации.

В связи с этим возникает задача автоматического определения параметров описания ЦФ в пространстве состояний, т. е. элементов матриц A, b, c и d, на основе исходной структуры ЦФ.

Целью данной работы является разработка автоматического перехода от исходной структуры реализации ЦФ к структуре ЦФ, описанной в пространстве состояний, и определение элементов новых матриц системы (2), что должно позволить сократить время подготовки и решения задачи улучшения качественных показателей проектируемых схем реализации ЦФ при любой их сложности и размерности.

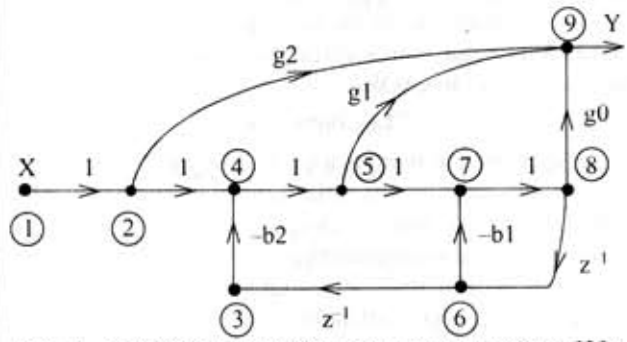


Рис. 1. Граф канонической структуры реализации ЦФ: b_i, g_i — коэффициенты передач ветвей; z^{-1} — элемент задержки на один такт; X, Y — соответственно входная и выходная величина ЦФ

Пусть задана исходная структура реализации ЦФ второго порядка (**рис. 1**). В любом графе, описывающем структуру ЦФ, можно выделить характерные узлы: входной (1) и выходной (9) узлы фильтра, входной (8) и выходной (6) узлы первой задержки, входной (6) и выходной (3) узлы второй задержки. Для расчета элементов матриц описания $\{A, b, c, d\}$ необходимо поставить в соответствие характерные узлы исходной структуры и структуры, описываемой в пространстве состояний (**рис. 2**), пронумеровав ус-

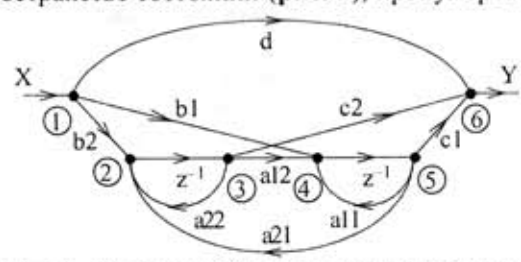


Рис. 2. Обобщенный граф структуры ЦФ второго порядка в пространстве состояний:
a_{ij}, b_i, c_i, d — коэффициенты передач ветвей

ловно задержки в структуре реализации ЦФ и определив все возможные пути между характерными узлами в соответствии с обобщенной структурой ЦФ в пространстве состояний. Этот трудоемкий расчет путей от i-го узла к j-му, естественно, требует автоматизации.

Особенностью матрицы описания структуры реализации ЦФ является то, что элемент i-й строки и j-го столбца равен передаче от j-го узла к i-му, взятой с противоположным знаком, а элементы главной диагонали матрицы принимаются равными 1. Тогда при нахождении пути от узла i к узлу j, исключая поочередно из графа все узлы (кроме i и j) и преобразуя его оставшуюся часть, можно прийти к графу с двумя узлами и одной передачей t.

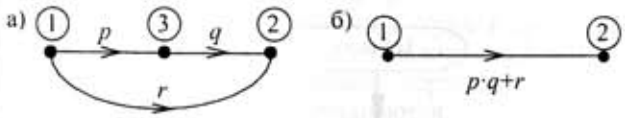


Рис. 3. Граф и преобразованный граф:
p, q, r — коэффициенты передач ветвей

Рассмотрим на примере простого графа влияние исключения узла из графа на его матрицу описания (**рис. 3**, *а*). Составим матрицу М для этого графа:

$$M=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ r & 1 & q \\ p & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Определим путь t от узла 1 к узлу 2. Для этого за счет элементарных преобразований графа оставим в нем два узла — начальный (1) и конечный (2). Это достигается за счет исключения узла 3, тогда передача t_{12} от узла 1 к узлу 2 будет равна $t_{12}=(p\cdot q+r)$ (рис. 3, *б*):

$$M^*=\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ p\cdot q+r & 1 \end{bmatrix}.$$

В матрице М такое преобразование приводит к вычеркиванию 3-й строки и 3-го столбца, а оставшиеся элементы новой матрицы M^* будут определяться как сумма старого p^c_{ij} и нового элемента $p^н_{ij}$, равного произведению элементов старой матрицы p^c_{i3} и p^c_{3j}.

Тогда, обобщая, можно записать, что исключение N-го узла приводит к преобразованию старой матрицы М в новую матрицу M^*, элементы которой определяются как

$$p^*_{ij} = p^c_{ij} + p^c_{iN} \cdot p^c_{Nj}, \qquad (3)$$

где p^c_{ij} и p^*_{ij} — соответственно элементы старой матрицы М и новой M^*, находящиеся на пересечении строки i и столбца j.

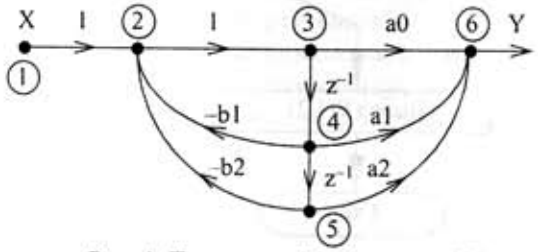


Рис. 4. Пример графа структуры ЦФ:
a_i, b_i — коэффициенты передач ветвей

Удобно, если исключаемый узел — последний, а начальный и конечный узлы структуры соответственно 1 и 2.

Воспользуемся формулой (3) для расчета пути от узла 5 к выходному узлу 6 в графе структуры ЦФ, представленному на **рис. 4**.

Составим матрицу М для данной структуры фильтра:

M=	1	2	3	4	5	6
1	1					
2	1	1		– b1	– b2	
3		1	1			
4				1		
5					1	
6			a0	a1	a2	1

За счет элементарных преобразований изменим матрицу так, чтобы начальный узел был первым, а конечный — вторым. Тогда

M^{II}=	5	6	3	4	1	2
5	1					
6	a2	1	a0	a1		
3			1			1
4				1		
1					1	
2	– b2			– b1	1	1

Вычеркивая последнюю строку и столбец, преобразуем данную матрицу к матрице размерностью 2×2, т. е. пока в графе не останется два узла — начальный и конечный (**рис. 5**). Оставшиеся узлы в графе — 5-й и 6-й (соответственно 1-й и 2-й в матрице), а путь от 5-го узла к 6-му равен передаче $t=(a2 - a0\cdot b2)$.

M^*_1=	5	6	3	4	1
5	1				
6	a2	1	a0	a1	
3	–b2		1	–b1	1
4				1	
1					1

M^*_2=	5	6	3	4
5	1			
6	a2	1	a0	a1
3	–b2		1	–b1
4				1

M^*_3=	5	6	3
5	1		
6	a2	1	a0
3	–b2		1

M^*_4=	5(1)	6(2)
5(1)	1	
6(2)	a2–a0·b2	1

Рис. 5. Этапы преобразования матрицы структуры ЦФ:
a_i, b_i — коэффициенты матрицы описания (соответствующие коэффициентам передач ветвей)

На основании данных положений и элементарных преобразований графа и матрицы можно предложить алгоритм программы расчета элементов матрицы опи-



Рис. 6. Общий алгоритм программы преобразований

сания. Целесообразно разбить его на две части: общий алгоритм программы, показывающий основные этапы работы программы, (**рис. 6**) и алгоритм подпрограммы расчета элементов матрицы описания структуры в пространстве состояний (**рис. 7**).

Проверим работу алгоритма на примере структуры ЦФ. Проверку будем проводить сравнением передаточных функций, полученных:

— из исходной матрицы по формуле

$$H(z) = \frac{(-1)^{M+N} \cdot \Delta_{M,N}}{\Delta},$$

где M и N — соответственно входной и выходной узлы структуры ЦФ;

— из коэффициентов рассчитанных в программе по формуле (2).

Пусть дана каноническая структура реализации ЦФ, показанная на рис. 1. Составим матрицу для данного графа:

M =	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	−1	1							
3			1			$-z^{-1}$			
4		−1	b2	1					
5				−1	1				
6						1		$-z^{-1}$	
7					−1	b1	1		
8							−1	1	
9		−g2			−g1			−g0	1

Определители матрицы равны соответственно

$$\Delta = \frac{z^2 + b_1 \cdot z + b_2}{z^2};$$

$$\Delta_{1,9} = \frac{(g0 + g1 + g2) \cdot z^2 + (g2 \cdot b1 + g1 \cdot b1) \cdot z + g2 \cdot b2}{z^2},$$

а передаточная функция после преобразований имеет следующий вид:

$$H(z) = \frac{g0 + g1 + g2 + (g2 \cdot b1 + g1 \cdot b1) \cdot z^{-1} + g2 \cdot b2 \cdot z^{-2}}{1 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}.$$

В алгоритме программы рассчитываются элементы матриц $\{A, b, c, d\}$ структуры в пространстве состояний:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b2 & -b1 \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$c = \left[-b2 \cdot g0 + g1 - b1 \cdot g0 \right]; \; d = g0 + g1 + g2.$$

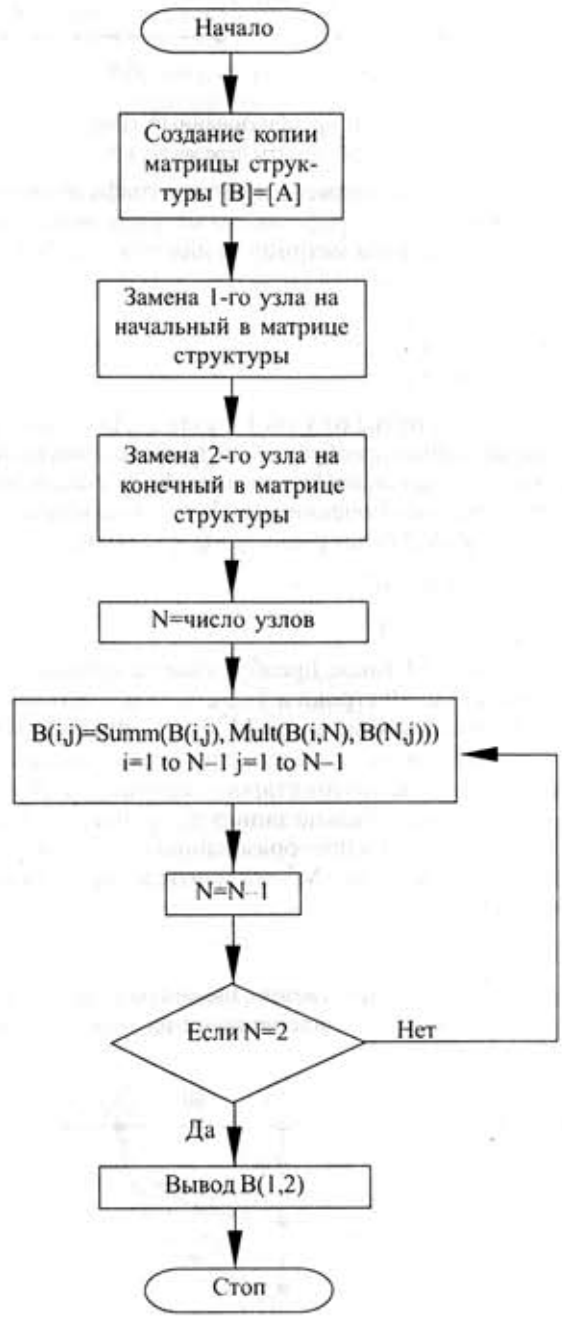


Рис. 7. Алгоритм подпрограммы расчета элементов матриц описаний структуры в пространстве состояний

Определим передаточную функцию по полученным элементам матриц:

$$H(z)=\left[-b2\cdot g0+g1-b1\cdot g0\right]\cdot\left[\begin{bmatrix}z & 0\\ 0 & z\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}0 & 1\\ -b2 & -b1\end{bmatrix}\right]^{-1}\cdot\begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}+$$

$$+g0+g1+g2.$$

Тогда

$$H(z)=\frac{g0+g1+g2+(g2\cdot b1+g1\cdot b1)\cdot z^{-1}+g2\cdot b2\cdot z^{-2}}{1+b_1\cdot z^{-1}+b_2\cdot z^{-2}}.$$

Сравнивая полученные передаточные функции по рис. 1 и 2 , следует отметить, что передаточные функции полностью совпадают при расчете их по матрице и по элементам матрицы структуры в пространстве состояний, полученным с помощью разработанного алгоритма автоматического перехода. При этом затраты времени резко уменьшаются.

Предложенный подход является перспективным в условиях дефицита времени и делает возможным решение данной задачи при высокой сложности и размерности исходной структуры реализации ЦФ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Малахов В. П., Ситников В. С., Ступень П. В., Ульяшин С. В. Выбор структуры цифрового фильтра по уровню выходного шума округления // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2001.— № 2.— С. 17—22.

2. Mullis C. T., Roberts R. A. Synthesis of minimum roundoff noise fixed-point digital filters // IEEE Transaction on Circuits and Systems.— 1976.— Vol. CAS-23, Sept.— P. 551—561.

3. Jackson L. B., Lingren A. G., Kim Y. Optimal synthesis of second-order state-space structures for digital filters // Ibid.— 1979.— Vol. CAS-26, Mar.— P. 149—153.

4. Barnes C. W. Computationally efficient second-order digital filter section with low roundoff noise gain // Ibid.— 1984.— Vol. CAS-31, N 10, Oct.— P. 841—847.

5. Bomar B. W. On the design of second-order state-space digital filters sections // Ibid.— 1989.— Vol. CAS-36, N 4, April.— P. 542—552.

6. Rao B. V. D. Floating point arithmetic and digital filters // IEEE Trans. Signal Processing.— 1992.— Vol. 40, N 1, Jan.— P. 85—95.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ

«МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА—2002»

9-я Всероссийская
межвузовская научно-техническая
конференция студентов и аспирантов

17—18 апреля 2002 г.

Россия Москва

Адрес Оргкомитета:

103498, Москва К-498, Московский государственный институт электронной техники (МИЭТ), ОНТИ.
Тел. (095) 532-98-30, факс (095) 530-54-29,
e-mail: id@rnd.miee.ru

Научные направления работы конференции

- Физика и технология изделий микро- и наноэлектроники.
- Материалы и компоненты электронной техники.
- Проектирование систем и электронных компонентов.
- Биомедицинская электроника.
- Математические модели и алгоритмы в информатике.
- Информационно-управляющие системы и приборы.
- Автоматизированные информационные системы.
- Телекоммуникационные системы и связь.
- Технологическое оборудование микроэлектроники.
- Менеджмент и маркетинг наукоемких производств.
- Гуманитарные проблемы информатизации.

НОВЫЕ КНИГИ

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ

Годлевский Л. С., Кресюн В. И., Садлий А. В. и др. Медицинская аппаратура. Принципы действия и применения.— Одесса: Нептун-Технология, 2002.— 392 с.

Рассмотрено состояние современной медицинской техники в следующих направлениях: основы метрологии и метрологическое обеспечение медицинской аппаратуры, медицинская электронная аппаратура для регистрации биопотенциалов, магнитодиагностика и магнитотерапия.

Книга рекомендуется студентам медицинских ВУЗов, а также медицинским работникам лечебно-профилактических учреждений органов практического здравоохранения.

Цена 5 дол. США.
Заказы-заявки направлять по e-mail: tkea@odessa.net
Справки по тел. +38 (048) 733-72-83, 733-67-91.

Д. т. н. Д. И. ЛЕВИНЗОН,
к. т. н. Г. А. ЧАУСОВСКИЙ, Р. В. ГОЛОВАХА

Украина, Запорожская гос. инженерная академия
E-mail: zgiaimt@aport.ru

Дата поступления в редакцию
21.05 2001 г.

Оппоненты
д. т. н. А. В. ПЕРЕВЕРЗЕВ (ЗГИА, г. Запорожье),
д. м. н. Л. С. ГОДЛЕВСКИЙ (ОГМУ, г. Одесса)

УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ БОДРСТВОВАНИЯ ВОДИТЕЛЯ

В основу принципа действия положена регистрация колебательной активности рулевого колеса, а также потеря тонуса затылочных мышц.

Общеизвестна проблема повышения безопасности управления транспортными средствами за счет своевременного получения сигнальной информации — предвестника потенциально предаварийного физиологического состояния водителя.

В числе наиболее значимых факторов, влияющих на безаварийную эксплуатацию транспортных средств, выделяется момент перехода водителя от состояния бодрствования к засыпанию. Существенным недостатком известных систем автоматического контроля бодрствования водителя транспортного средства [1—6] является необходимость фиксации датчиков на теле водителя. Наибольшие затруднения создает проблема устранения прямых тактильных связей с сенсорной системой мониторинга состояния водителя.

Нами были разработаны принципиально новые технические решения, базирующиеся на использовании электронно-биомедицинских сенсоров, отличающихся высокой информативностью и технологичностью и в известной степени разрешающие указанную проблему:

— гальваномагнитный сигнализатор наступления предсонного состояния водителя;

— оптоэлектронный сигнализатор наступления состояния диффузного бодрствования водителя;

— кинезиолого-кондуктометрический регистратор бодрствования водителя.

Принцип действия *гальваномагнитного сигнализатора наступления предсонного состояния* водителя основан на отслеживании и анализе частоты управленческо-колебательных движений рулевого колеса. Общий вид преобразователя, осуществляющего это отслеживание, приведен на **рис. 1**.

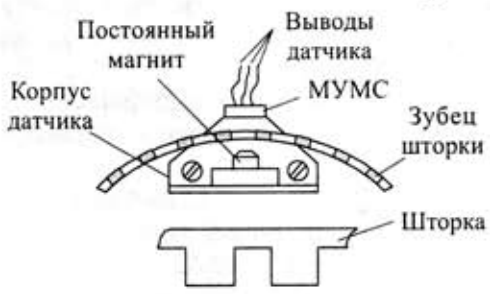


Рис. 1

Преобразователь заключен в пластмассовый корпус с размещенными внутри него магнитной системой на ферритобариевом магните и магнитоуправляемой микросхемой (МУМС). МУМС, разработанная и изготовленная специализированная микросхема, представляет собой устройство малой степени интеграции, содержащее в одном кремниевом кристалле преобразователь магнитного поля и электронное устройство усиления и обработки сигнала. В структуре микросхемы выполнен преобразователь магнитного поля (интегральный 4-электродный элемент Холла).

Основными преимуществами МУМС по сравнению с другими известными преобразователями неэлектрических величин являются возможность механической, гальванической, тепловой развязки измерительных и управляющих цепей от объектов контроля и осуществление непосредственного сопряжения со стандартными логическими узлами.

Микросхема изготавливается по эпипланарной технологии и заключена в пластмассовый корпус с жесткими плоскими выводами. Сигнал с элемента Холла усиливается дифференциальным усилителем и подается на триггер Шмитта, который управляет выходным усилителем. Работоспособность датчика в диапазоне питающих напряжений 4,5—18 В обеспечивает стабилизатор напряжения.

Преобразователь работает следующим образом. При перемещении в рабочем зазоре преобразователя шторки из ферромагнитного материала, имеющей сквозные окна (отверстия), происходит прерывание магнитного потока, воздействующего на элемент Холла МУМС, и на выходе преобразователя формируется импульсный сигнал стандартного уровня. Направление вращения в зазоре датчика — любое. Шторка выполнена в виде стального стакана, который сочленен с осью вала рулевого колеса. По окружности стакана выполняются прямоугольные окна, количество которых определяется минимальным значением перемещения руля в градусах, что позволяет идентифицировать величину критического подрегулирования рулем (φ=6°), после которого водитель уже не в состоянии управлять транспортным средством.

Вдвигающийся в зазор зубец шторки шунтирует все большую часть магнитного потока, падающего на элемент Холла. При уменьшении величины индукции до порога отпускания микросхемы на выходе датчика

происходит смена логического уровня с 0 на 1. При выходе зубца из зазора индукция увеличивается, и при достижении порога срабатывания происходит обратная смена уровня выходного напряжения — 1 на 0.

Функциональная схема гальваномагнитного сигнализатора наступления предсонного состояния водителя показана на **рис. 2**, где *1*—рулевое колесо; *2* — стальная шторка; *3* — постоянный магнит; *4* — магнитоуправляемая микросхема; *5* — преобразователь «частота—напряжение»; *6* — задатчик опорного напряжения; *7* — компаратор; *8* — электронный ключ; *9* — блок активизации психофизиологического состояния водителя.

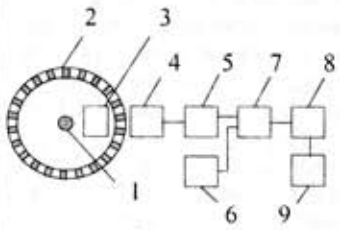


Рис. 2

Для регистрации двигательной активности водителя нами было также предложено техническое решение, основанное на использовании оптоэлектронной системы.

Функциональная схема *оптоэлектронного сигнализатора наступления состояния засыпания* водителя приведена на **рис. 3**, где *1* — вал рулевого колеса; *2* — жестко зафиксированный на нем оптический отражатель; *3* — ИК-излучатель; *4* — ИК-фотоприемник; *5* — преобразователь "частота—код"; *6* — задатчик опорной частоты; *7* — компаратор; *8* — электронный ключ; *9* — блок выдачи сигнального акустического воздействия. Оптический отражатель выполнен в виде цилиндра с нанесенными на него чередующимися поглощающими и отражающими ИК-лучи черными и белыми полосами.

Оптоэлектронный преобразователь двигательной активности последовательно соединен с преобразователем "частота—код", подключенным с задатчиком опорной частоты через компаратор к электронному ключу, который подает напряжение питания на блок выдачи сигнального акустического воздействия.

При вращении вала рулевого колеса на вход фотоприемника поступают последовательно чередующиеся отраженные цилиндром ИК световые импульсы, которые преобразуются в соответствующие функциональные электрические сигналы. При этом частота следования электрических импульсов пропорциональна частоте вращательно-колебательных движений рулевого колеса относительно своей оси.

Увеличение чувствительности оптоэлектронного преобразователя осуществляется посредством повышения уровня дискретизации отсчета величины угла поворота рулевого колеса в единицу времени путем увеличения радиуса цилиндра, на который нанесены чередующиеся черные и белые полосы, а также варьированием их размеров.

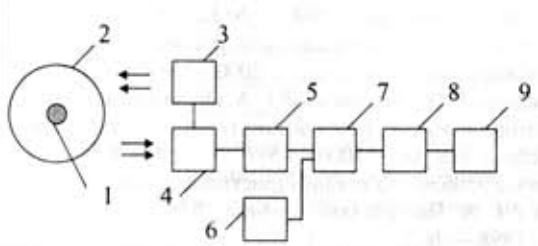


Рис. 3

Последовательные электрические импульсы, регистрируемые в единицу времени ИК-приемником *4*, поступают на преобразователь "частота—код" *5*. Далее этот код сравнивается по величине с поступающим из задатчика кода опорной частоты *6*. Если код опорной частоты становится больше кода, получаемого с преобразователя "частота—код", то констатируется факт нахождения водителя в состоянии активного бодрствования, и блок акустической сигнализации *8* находится в ждущем режиме. Если код опорной частоты становится меньше кода, получаемого с преобразователя "частота—код", компаратор включает блок акустической сигнализации появления симптоматических признаков наступления состояния диффузного бодрствования водителя, который достаточно громким звуком (уровень порядка 100 дБ) выводит водителя из состояния дремоты.

Основным элементом оптоэлектронного сигнализатора является фотоприемник, преобразующий в информативный сигнал излучение ИК-светодиода, промодулированное цилиндром с нанесенными на него черными и белыми полосами. Фотоприемник изготовлен по специально разработанной технологии на основе кремниевой эпитаксиальной структуры n—n^+-типа. Высокая эффективность фотоэлектрического преобразования, простота конструкции и технологии, малая энергоемкость и достаточно высокий КПД достигаются путем снижения потерь на отражение в области спектральной чувствительности при использовании гетероструктуры с тонкой пленкой $In_xSn_yAl_2O_3$, представляющей собой барьерообразующий оксид металла (ITAO). Основные параметры полученных фотопреобразователей: напряжение холостого хода — 560 мВ, ток короткого замыкания — 28,3 I_{sc}, мА/см^2, КПД — 14,4%.

Отличительными особенностями разработанного устройства являются высокая эксплуатационная надежность и простота реализации алгоритма функционирования, а также отсутствие необходимости внесения конструктивных изменений в схему работы основных узлов автомобиля. Следует отметить, что водитель в процессе получения информации о показателях его двигательной активности гальванически и механически не связан с системой контроля его нервной системы, что исключает внесение элемента дискомфорта и артефактов в естественную профессиональную деятельность.

Использование гальваномагнитных и оптоэлектронных сенсоров для мониторинга функционального состояния водителя, как показали наши исследования, соответствуют поставленным функциональным задачам контроля уровня бодрствования водителей транспортных средств, однако в целях повышения надежности имеет смысл использовать одну из этих систем в комплексе с биосенсорной системой контроля непосредственно психофизиологического состояния водителя. В рамках решения этой проблемы нами предложен *кинезиолого-кондуктометрический регистратор*.

В основу разработанного устройства положен принцип регистрации непроизвольного наклона (кивка) головы, который является внешним признаком наступления предсонного состояния человека [7]. Для регистрации этого фактора разработано электронное устройство, характеризующееся портативностью конструктивного исполнения, низкой ценой, простотой эксплуатации, высокой надежностью и малым потреблением электроэнергии. Устройство представляет собой индивидуальный миниатюрный сигнализатор, исключающий наличие гальванических связей с контролирующей стационарной аппаратурой и не вносящий элементов дискомфорта в естественную производственную деятельность водителя.

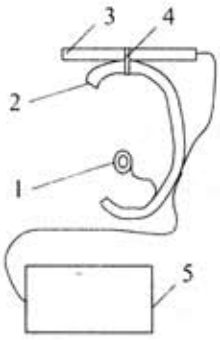


Рис. 4

Устройство контроля состояния водителя (**рис. 4**) содержит слуховой телефон *1*, соединенный с выходом электронного блока *5*, вход которого подключен к датчику *3*, выполненному в виде капсулы, частично заполненной водно-ацетоновой смесью и снабженной электродами, которые являются выходами датчика. Предусмотрена фиксация датчика на верхней части уха водителя при помощи держателя *2*, выполненного в виде дужки, причем крепление датчика к дужке фиксатором *4* обеспечивает возможность изменения исходного угла наклона капсулы.

При изменении положения головы водителя в предсонном состоянии одновременно наклоняется и капсула с водно-ацетоновой смесью. В результате электролит перетекает к одному из электродов, что приводит к срабатыванию в электронном блоке генератора электрических импульсов звуковой частоты. Водитель ощущает достаточно резкое и неприятное акустическое раздражение, которое выводит его из предсонного состояния.

Порог срабатывания звуковой сигнализации подбирается индивидуально и устанавливается соответствующим исходным углом наклона капсулы.

Особенностью конструкции датчика является использование в качестве электролита водно-ацетоновой смеси. Выбор электролита обусловлен достаточно высокой скоростью его испарения при температуре, близкой к 36°С, возможностью достижения необходимого уровня избыточного давления внутри ампулы датчика и подвижностью электролита при изменении угла наклона капсулы.

Для исключения явления поляризации электродов датчика (следствием которого является постепенное уменьшение тока через электролит до ничтожно малой величины) используется периодическое изменение направления тока в цепи датчика.

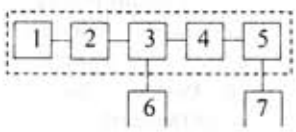


Рис. 5

Электронный блок устройства показан на **рис. 5**, где *1* — мультивибратор; *2* — ключ № 1; *3* — цепь датчика; *4* — ключ № 2; *5* — генератор звуковой частоты; *6* — датчик; *7* — телефон головной.

Наличие проводящей среды, находящейся в непосредственном контакте с электродами датчика, обусловливает протекание тока зарядки через конденсатор, являющийся основным элементом цепи датчика. Срабатывание ключа № 1, управляемого мультивибратором, вызывает протекание в обратном направлении тока разрядки конденсатора в цепи датчика.

Нарушение гальванического контакта между электродами датчика приводит к прекращению протекания тока в цепи датчика и служит сигналом для включения ключом № 2 генератора звуковой частоты, подключенного к головному телефону.

С целью выбора оптимальных геометрических размеров датчика было изготовлено 5 опытных образцов. Применение датчика, диаметр капсулы которого больше 10 мм, вызывает физические неудобства и неприятные ощущения. Использование капсулы с диаметром меньше 8 мм приводит к запаздыванию срабатывания звуковой сигнализации. Капсула диаметром 9 мм позволяет свести к минимуму неудобства, причиняемые водителю, и обеспечить достаточно малое время срабатывания устройства.

***

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность осуществления в реальном режиме времени мониторинга физиологического состояния водителя в процессе управления им транспортным средством на основе использования гальваномагнитных, оптоэлектронных и кондуктометрических преобразователей в качестве автоматических регистраторов.

Предложенные устройства характеризуются технологичностью исполнения и возможностью широкомасштабного оснащения ими как эксплуатируемых, так и серийно выпускаемых автомобилей в рамках решения проблемы снижения количества ДТП, обусловленных психофизиологическими факторами системы "машина — водитель".

Конструктивно-схемное решение обеспечивает широкий спектр функциональных возможностей устройств как в рамках поставленной задачи повышения безопасности управления транспортным средством, так и для медицинских проблем физкультурно-реабилитационного и лечебно-кинезиологического направления.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Система "Антисон" // За рулем.— 1999.— № 1.— С. 11.

2. Информатор о критическом состоянии летчика // Радиоаматор-конструктор.— 2000.— № 7—8.— С. 38.

3. Дементиенко В. В., Марков А. Г., Коренева Л. Г., Шахнорович В. Н. Автоматизированный контроль бодрствования водителя транспортного средства // Биомедицинская радиоэлектроника.— 2000.— № 8.— С. 38.

4. Головаха Р. В., Левинзон Д. И., Чаусовский Г. А. Сигнализатор предсонного состояния водителей транспортных средств // Радиоаматор-электрик.— 2000.— № 12.— С. 28—29.

5. Головаха Р. В. Антисон для водіїв сільгоспмашин // Аграрний інформаційний бюлетень.— 2000.— № 4.— С. 18—19.

6. Головаха Р. В., Чаусовський Г. А. Оксигемометричний сигналізатор зниження працездатності оператора транспортного засобу // Там же.— 2000.— № 6.— С. 19—20.

7. Заявка 95063000 України. Пристрій для контролю стану водія / Г. А. Чаусовський.— Бюл. "Промислова власність".— 1998.— № 1.

К. т. н. Дж. Ф. МАМЕДОВ,
к. ф.-м. н. Г. М. МАНСУРОВ, Х. М. АХМЕДОВА

Азербайджан, Сумгаитский гос. университет
E-mail: anasa.ssddb@azeuro.net

Дата поступления в редакцию
25.06 2001 г.

Оппоненты
д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ (ОКБ КП, г. Баку),
к. т. н. В. И. МЕЩЕРЯКОВ (ОГАХ, г. Одесса)

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Предложенная последовательная структура интерфейса дает возможность передавать точную информацию при необходимой скорости диалога.

Автоматизированное проектирование современной холодильной техники и, в частности, холодильных камер с центральной системой управления является сложным многоэтапным процессом и связано с решением задач выбора центральной системы управления, создания структуры системы контроля работоспособности объекта управления, а также создания программных средств. Опыт показывает, что созданные на основе микропроцессоров и программируемых автоматов (ПА) управляющие системы позволяют обеспечить эффективную и надежную работу охлаждающих систем. В этой связи возрастает роль проектирования устройств интерфейса информационных систем с оборудованием и устройствами системы охлаждения холодильных камер.

В случае когда функции обработки информации и управления распределяются между многочисленными процессорами (и это соответственно понижает скорость ПА и усложняет его программное обеспечение) возникает необходимость улучшить взаимодействие между функциональными блоками центральной системы контроля холодильной камеры. В этих случаях появляется задача выбора технических средств для системы контроля холодильных систем и исследования стандартных интерфейсов между ее объектами [1].

Пусть целевая функция по выбору микропроцессора программируемого автомата (МПА) имеет вид [2]

$$W=\min\left(f_1(x)-f_2(x)\right), \qquad (1)$$

где $x=\{x_i\}$ — технические характеристики МПА, $i=\overline{1,m}$;
x_1 — быстродействие МПА;
x_2 — объем запоминающего устройства ПА;
x_3 — объем оборудования МПА;
$0\le k\le 1$ — удельная производительность МПА;
$f_1(x)$ — расчетная производительность МПА;
$f_2(x)$ — справочная производительность МПА.

Быстродействие является одним из критериев производительности микропроцессора ПА для холодильной системы и определяется временем цикла выполнения команд [3, с. 53]:

$$x_1=\sum_{i=1}^{6}p_i t_{1i}+\sum_{j=1}^{3}r_j t_{2i}+\sum_{j=1}^{3}b_j t_{3i}. \qquad (2)$$

где p_i — команды, связанные с состоянием холодильной камеры (температура, холодопроизводительность) в процессе ее работы, с длительностью выполнения t_{1i};
r_j — информационные команды стандартных программ управления температурным режимом холодильной системы с длительностью выполнения t_{2i};
b_j — команды из базы данных всех элементов холодильной системы с длительностью выполнения t_{3i}.

Учитывая, что для записи рабочей программы с числом команд d и количеством констант S требуется $C_{\text{пр}}=8(d+S)$ бит, необходимый объем запоминающего устройства микропроцессора ПА определяется соотношением [3, с. 54]

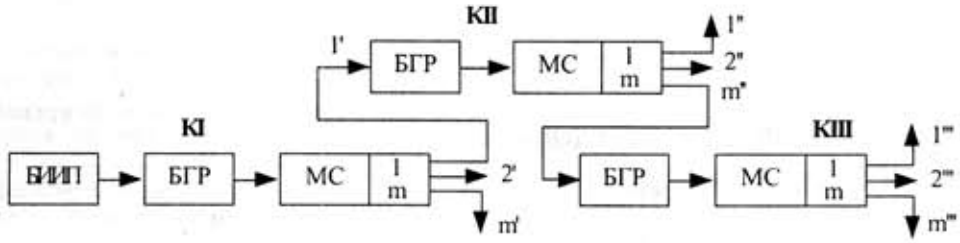
$$x_2=8(d+S)+\left[\log m+\log n\sum_{i=1}^{n}A_i\right]\sum_{j=1}^{m}V_j. \qquad (3)$$

где m — число строк;
n — число столбцов;
A_i — переходы из 0 и 1 в строке;
V_j — число ненулевых строк.

С учетом выражений (3) и (4) определяется составляющая целевой функции $f_1(x)$ — производительность микропроцессора ПА:

$$f_1(x)=x_1x_2/x_3. \qquad (4)$$

Выбранный на основе расчетов тип микропроцессора выполняет двойную задачу: с одной стороны, обеспечивает работу систем ПА и, с другой стороны, реализует инструкции программы. В процессе работы микропроцессор ищет программы в памяти по определенным адресам, располагает их в своих регистрах, затем анализирует получившуюся последовательность из 0 и 1, наконец, выполняет требуемое и представляет результаты своей работы, выдавая новую последовательность из 0 и 1. Промежуточные результаты расчета хранятся в памяти с произвольным доступом, в котором происходят все операции записи-чтения. Результат применяется в качестве центрального вычислительного комплекса для системы контроля холодильной камеры [1].



Структурная схема трехступенчатого последовательного интерфейса МПА

После выбора других элементов МПА по вышеописанной методике строится структурная схема трехступенчатого последовательного интерфейса МПА с оборудованием и устройствами холодильной камеры со свободной магистралью (см. **рисунок**).

В данной структуре информационный интерфейс между МПА и функциональными блоками объектов (компрессором, терморегулирующим вентилем, конденсатором, испарителем и термометром помещения холодильной камеры) выполняется с помощью информационных интерфейсных протоколов (БИИП), где используется формат сообщения, используемый код, информационные и управляемые вспомогательные сигналы, функции интерфейсов, логические сигналы, методы синхронизации и порядок адресации информации [4]. На каждой адресной ступени имеется коммутаторная магистральная станция (МС). К каждому выходу *m* присоединяются коммутаторы (KI, KII, KIII) очередных ступеней. Связи между коммутаторами осуществляются с помощью блоков гальванической развязки (БГР). Информация, входящая в протокол, определяется количеством, точностью и диапазоном слов. Длина слова функционального интерфейса около 32 бит. В информационные выражения входят адресные, временные, командные и группа информационных слов (64 слова).

Для представления операций информационного интерфейса был использован алгоритм логической схемы [4, с. 76]

$[Ad_1(1)\varphi_1(R)] \longrightarrow$

$\longleftarrow [Ad_0(1)\varphi_0(R)][Ad_0(2)\varphi_0(W)]$

$\longleftarrow \varphi_2(W) \longrightarrow$

$<I>:=[Ad_1(1)L_1(L^*)T_1(T^*)I_1(I^*)] \longrightarrow$

$\longleftarrow \varphi_2(W{:}I^*) \longrightarrow$

Здесь $Ad_1(I)$ — адрес интерфейсного функционального блока; $\varphi_1(R)$ — передача информации.

Для формирования информации между управляемым функциональным блоком (УФБ) и приемным функциональным блоком (ПФБ) холодильной камеры записывается слово

<I>:=Ad(I)L(L*)T(T*)I(I*)

На основе этого слова команда передается в устройство функционального блока, где подтверждается информация о приеме команды. Для передачи информации $Ad_1(1)\varphi_1(R)$ получается разрешение. Управляемые функциональным блоком командные слова: $Ad_0(1)\ \varphi_0(R)$ УФБ и $Ad_0(2)\ \varphi_0(W)$. Для ПФБ после получения сигнала $\varphi_2(W)$ о приеме сигнала формируется: $Ad_1(1)$ — адрес, L_1 — диапазон измерения, T_1 — время и информационное слово с данными <I>.

Информационная интерфейсная процедура реализуется последовательно по одномагистральному каналу:

$$[Ad_1(1)\varphi_1(R)]\{Ad_0(1)\varphi_0(R)][Ad_0(2)\varphi_0(W)]\}\times$$

$$\times\varphi_2(W)[Ad_1(1)L_1(L^*)T_1(T^*)I_1(I^*)\varphi_2(W{:}I^*)]$$

Для распределения информации в структуре последовательного интерфейса используется магистральная станция на каждой адресной ступени.

***

Предложенная последовательная структура интерфейса дает возможность передавать точную информацию при необходимой скорости диалога и наличии помех и соответствует техническим требованиям к системе контроля холодильной камеры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Мааке В., Эккерт Г. Ю., Кошпен Ж. Л. Учебник по холодильной технике.— М.: Изд-во Московс. ун-та, 1998.

2. Мартынов А. К., Титов В. С., Колодин В. А., Хлыст С. И. Методика выбора микропроцессора для системы управления кранштабелером // Механизация и автоматизация производства.—1985.— № 9.— С. 14—15.

3. Пустынский И. Н., Титов В. С., Широбакина Т. А. Адаптивные фотоэлектрические преобразования с микропроцессорами.— М.: Энергоиздат, 1990.

4. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы.— М.: Энергоатомиздат, 1985.

А. И. ШАПИРО, *Т. Ю. НИКОЛАЕНКО*

Украина, Киевский естественно-научный лицей № 145

Дата поступления в редакцию
21.09 2001 г.

Оппонент
к. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ (ОНПУ, г. Одесса)

РАЗОМКНУТАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАВЯЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ

Плавящиеся вещества (воск, парафин) могут быть использованы для термостабилизации тепловыделяющих элементов кратковременно работающей РЭА.

С целью снижения массы и габаритных размеров, улучшения эксплуатационных характеристик систем охлаждения в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА), работающей в импульсном режиме, широкое применение получили замкнутые системы охлаждения с использованием плавящихся веществ [1]. Радиоэлементы, выделяющие во время импульса большое количество теплоты, помещают внутри или снаружи герметичной тонкостенной оболочки из теплопроводного материала, внутренняя полость которой заполнена рабочим веществом. В качестве рабочего вещества наиболее часто используются воск, парафин, стеариновая кислота, гидрат окиси бария, нафталин, кристаллический углекислый натрий, сплав Вуда и др. Выделившаяся во время импульса теплота поглощается при плавлении рабочего вещества. В отсутствие импульса расплавленное вещество кристаллизуется и отдает приобретенную теплоту оболочке и — далее — в окружающую среду.

Главным недостатком такого способа охлаждения является необходимость периодического охлаждения рабочего вещества. Процесс этот при высокой температуре окружающей среды, при слабой конвекции окружающей оболочку среды или при отсутствии конвекции (например, в космических условиях) может происходить довольно долго, что приводит к недопустимому росту температуры оболочки и охлаждаемого радиоэлемента. Поэтому замкнутые системы охлаждения с использованием плавящихся веществ мало пригодны для применения в аппаратуре, где длительность импульса значительно превышает длительность паузы.

Наиболее простым представляется использование в этих случаях *разомкнутой системы охлаждения*, когда расплавленное рабочее вещество удаляется с поверхности нагрева, а на его место поступает новая порция рабочего вещества в твердой фазе. При этом достигается комбинация двух способов охлаждения: плавлением рабочего вещества и конвекцией его расплава. Кроме того, постоянство температуры плавления рабочего вещества позволяет обеспечить температурную стабилизацию корпуса тепловыделяющего радиоэлемента, что в ряде случаев желательно.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование эффективности разомкнутой системы охлаждения плавящимися веществами применительно к охлаждению мощного радиоэлемента (транзистора 2Т808А).

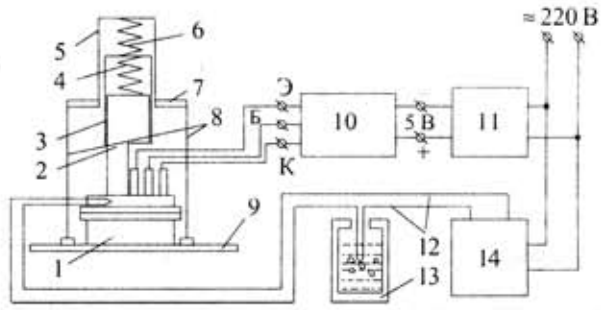


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: *1* — транзистор 2Т808А; *2* — парафиновый стержень; *3* — подвижный держатель парафинового стержня; *4, 6* — пружины; *5* — неподвижная направляющая; *7* — скоба крепления неподвижной направляющей; *8* — винты; *9* — основание; *10* — схема обеспечения режимов работы транзистора; *11* — блок питания; *12* — дифференциальный ТЭП; *13* — термос с плавящимся льдом и водой; *14* — милливольтметр Щ 68000

Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка, блок-схема которой изображена на **рис. 1**.

Экспериментальная установка состоит из рабочего участка, схемы обеспечения режимов работы транзистора, блока питания, дифференциального термоэлектрического преобразователя (ТЭП), милливольтметра для измерения термоЭДС ТЭП.

Основным элементом рабочего участка является мощный транзистор 2Т808А. Для сравнения эффективности охлаждения транзистора с помощью плавящихся веществ и с помощью традиционных способов (естественное воздушное охлаждение транзистора без радиатора и с установкой транзистора на радиатор) рабочий участок имел четыре варианта исполнения (см. **рис. 2**).

В варианте *а* транзистор был расположен наиболее нагретой зоной своего корпуса (основанием) и выводами кверху (вариант естественной конвекции воздуха без применения радиатора). В варианте *б* транзистор устанавливался на ребристый радиатор с

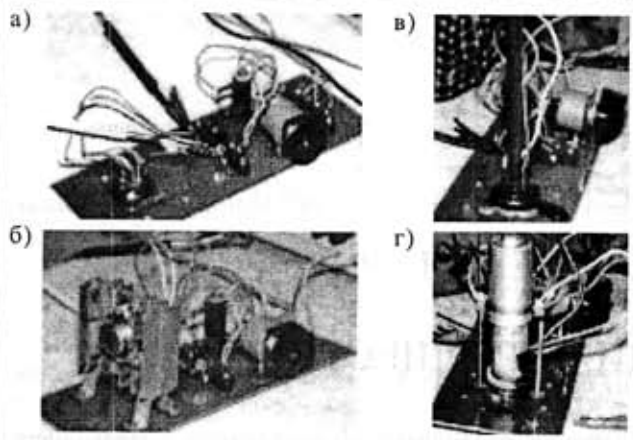


Рис. 2. Рабочий участок экспериментальной установки: *а* — при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора; *б* — то же — с радиатором; *в* — при охлаждении транзистора с ручной подачей плавящегося рабочего вещества; *г* — при охлаждении транзистора плавлением рабочего вещества, подаваемого в зону нагрева механически

площадью поверхности 100 см^2, который охлаждался естественной конвекцией воздуха. Вариант *в* повторял первый, но на наиболее нагретую зону корпуса транзистора сверху устанавливался вертикально и поддерживался восковой стержень (рабочее вещество) диаметром 9 мм и длиной 220 мм. Вариант *г* предполагает механическую подачу парафинового или воскового стержня диаметром 20 мм в зону охлаждения. Механизм подачи поясняется схемой рис. 1. К тепловыделяющей области основания транзистора *1* прижат парафиновый стержень *2*. В качестве подвижного держателя *3* парафинового стержня и неподвижной направляющей *5* использованы алюминиевые стаканы с пружинами *4* и *6*, соответственно. Направляющая *5* закреплена с помощью скобы *7* на симметричных винтах *8*, которые вторыми своими концами закреплены в основании *9*, т. е. крепят механизм подачи к основанию.

Устройство работает следующим образом. До включения питания установки пружины *4* и *6* сжаты, благодаря чему парафиновый стержень *2* своим нижним торцом опирается на основание корпуса транзистора *1*. После включения питания транзистор начинает нагреваться. По достижении температуры плавления парафина последний начинает плавиться, охлаждая транзистор и перемещаясь вниз под действием пружин *4* и *6*. Процесс продолжается до тех пор, пока не расплавится стержень.

Для измерения температуры корпуса транзистора использовался оттарированный дифференциальный ТЭП, изготовленный из медь-константановых электродов диаметром 0,16 мм. Нулевой спай ТЭП был погружен в термос со смесью воды и льда (температура смеси 0°С), второй спай ТЭП был зачеканен в корпусе транзистора напротив места установки полупроводникового кристалла.

В ходе исследования в экспериментах с включенным питанием через каждые 15 с измерялась температура корпуса транзистора, ток коллектора и напряжение на участке «коллектор—эмиттер». После отключения источника питания измерялась только температура корпуса.

Ток коллектора измерялся с помощью авометра DT-830B, включенного в режим измерения тока с пределом измерения 10 А и точностью 10 мА. Для измерения напряжения на участке «коллектор—эмиттер» был использован комбинированный прибор Ц 437 с пределами измерения напряжения 10 и 50 В, ценой деления 0,5 и 1 В, соответственно.

Исследовалось изменение температуры корпуса транзистора без радиатора при естественном воздушном охлаждении в зависимости от времени при включенном, а затем при выключенном питании установки. Те же измерения проводились на транзисторе с радиатором при значениях мощности 6,3 и 10,0 Вт. Затем исследовалось охлаждение транзистора с помощью предложенной разомкнутой системы охлаждения плавлением воска и парафина. Рабочее плавящееся вещество (восковой или парафиновый стержень) подавалось непосредственно на транзистор: стержень диаметром 9 мм — под собственным весом, парафиновый стержень диаметром 20 мм — под действием пружин.

Результаты экспериментального исследования. На графике **рис. 3** показано изменение температуры корпуса транзистора в процессе его нагревания при естественном воздушном охлаждении и при охлаждении с помощью радиатора. По мере нагревания транзистора при естественном воздушном охлаждении ток коллектора изменялся от 1,11 до 1,86 А, что при постоянном напряжении на участке «коллектор—эмиттер» 3,8 В эквивалентно изменению мощности транзистора от 4,2 до 7,1 Вт. Температура корпуса транзистора, установленного на радиаторе, определялась при двух режимах работы. Изменение тока коллектора

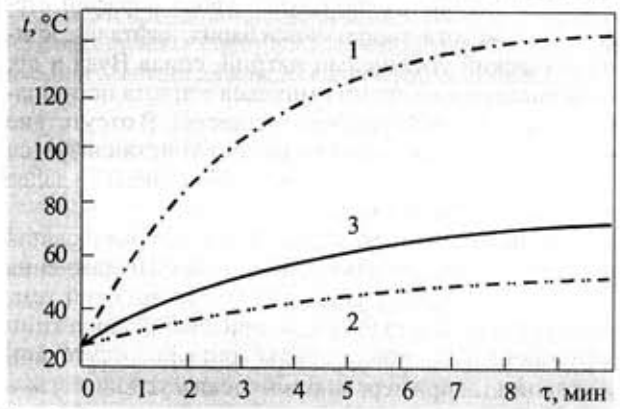


Рис. 3. Зависимость температуры *t* корпуса транзистора от времени τ:

1 – при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора ($I_к$=1,11—1,86 А, $U_{кэ}$= 3,8 В); *2* — то же — с радиатором ($I_к$=1,16—1,44 А, $U_{кэ}$=4,4 В); *3* — то же с радиатором при увеличенном токе коллектора ($I_к$=2,3—2,62 А, $U_{кэ}$=3,8 В)

в первом режиме было в пределах от 1,16 до1,44 А при напряжении «коллектор—эмиттер» 4,4 В, во втором режиме — от 2,3 до 2,62 А при 3,8 В, что эквивалентно изменению мощности транзистора в пределах от 5,1 до 6,3 Вт и от 8,7 до 10,0 Вт, соответственно. На графике **рис. 4** показано изменение температуры транзистора при его нагревании в случае естественного воздушного охлаждения и при охлаждении с помощью плавящихся веществ (воска и пара-

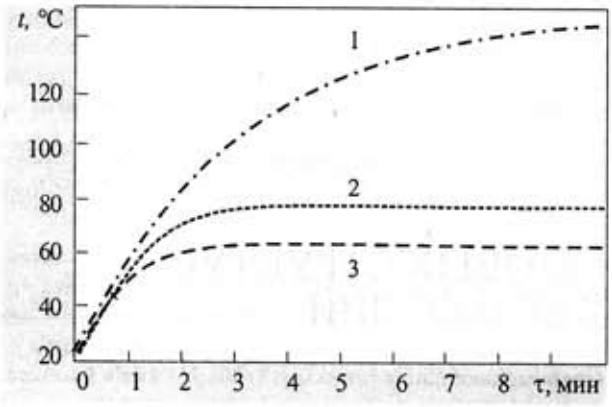


Рис. 4. Зависимость температуры корпуса транзистора от времени:

1 – при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора ($I_к$=1,11—1,86 А, $U_{кэ}$=3,8 В); *2* — при охлаждении транзистора плавлением воска ($I_к$=1,28—1,64 А, $U_{кэ}$=4,4 В); *3* — то же — плавлением парафина ($I_к$=1,21—1,51 А, $U_{кэ}$=4,4 В)

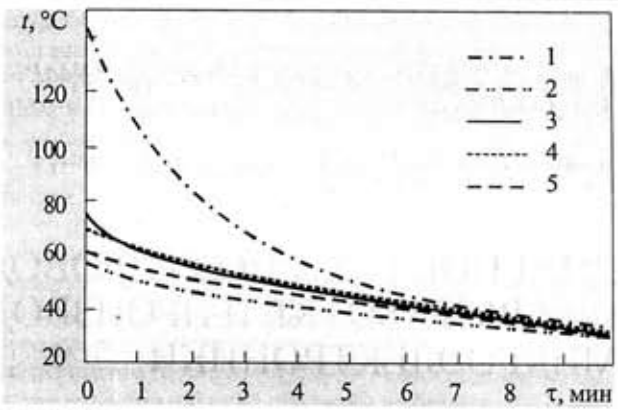


Рис. 5. Зависимость температуры корпуса транзистора от времени после выключения напряжения:

1 — для нагретого транзистора без радиатора ($I_к$=1,86 А, $U_{кэ}$=3,8 В); *2* — то же — с радиатором ($I_к$=1,44 А, $U_{кэ}$=4,4 В); *3* — то же — с радиатором при повышенном токе коллектора ($I_к$=2,62 А, $U_{кэ}$=3,8 В); *4* — для транзистора, который охлаждался плавлением воска ($I_к$=1,64 А, $U_{кэ}$=4,4 В); *5* — для транзистора, который охлаждался плавлением парафина ($I_к$=1,51 А, $U_{кэ}$=4,4 В)

фина). Изменение тока коллектора при охлаждении транзистора плавлением воска составило от 1,28 до 1,64 А при напряжении 4,4 В (мощность от 5,6 до 7,2 Вт), при охлаждении плавлением парафина — от 5,3 до 6,6 А при напряжении 4,4 В (мощность от 5,3 до 6,6 Вт). На графике **рис. 5** показан процесс остывания транзистора после отключения тока питания при всех рассмотренных способах охлаждения.

Из полученных результатов можно определить эффективность охлаждения транзистора при использовании каждого способа охлаждения.

Эффективность первого способа — естественного воздушного охлаждения без применения радиатора — достаточно низкая. При мощности тепловыделения 7,1 Вт по мере нагревания транзистора за 10 мин работы ток коллектора достиг значения 1,86 А и продолжал увеличиваться. При этом значение температуры корпуса транзистора составило 143,1°С. Рост тока коллектора приводит к еще большему разогреву транзистора, что, в свою очередь, снова приводит к увеличению тока коллектора и т. д. и, в конечном счете, к отказу транзистора.

Охлаждение транзистора с помощью радиатора при естественной конвекции окружающего воздуха более эффективно. Значение температуры корпуса транзистора за 10 мин работы составило 54,6 и 70,1°С в первом и втором режимах, соответственно, что в 2,6 и в 2,0 раза меньше, чем при естественном воздушном охлаждении без радиатора. Однако использование радиаторов не всегда эффективно и не всегда возможно. Например, в космических условиях, где отсутствует конвекция воздуха, для обеспечения эффективного сброса теплоты излучением требуется большая температура радиатора и большая площадь его поверхности.

Последним исследовался способ охлаждения транзистора с помощью разомкнутой системы охлаждения с использованием плавления рабочего вещества — воска и парафина. При использовании воскового стержня его плавление началось через 2 мин после включения тока питания. Вследствие этого температура корпуса транзистора и ток коллектора стали стабильными — t = 75°С , $I_к$ = 1,64 А. За 5 мин плавления воскового стержня диаметром 9 мм его длина сократилась на 7 см. При использовании парафинового стержня (диаметр 20 мм, половина стержня по толщине была срезана, чтобы обеспечить доступ к корпусу транзистора возле его выводов) были получены еще лучшие результаты. Плавление парафина начиналось через 1,25 мин после включения тока питания; температура корпуса транзистора и ток коллектора также стали стабильными, но на более низком уровне: t = 62°С, $I_к$ = 1,51 А.

Таким образом, по сравнению с естественным воздушным охлаждением охлаждение плавящимся воском позволило снизить температуру корпуса транзистора в 1,9 раза, а при охлаждении плавящимся парафином — в 2,3 раза (при соизмеримых значениях мощности транзистора).

***

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность и эффективность использования разомкнутой системы охлаждения с использованием плавящихся веществ (воска и парафина) для охлаждения и термостабилизации тепловыделяющих мощных элементов кратковременно работающей радиоэлектронной аппаратуры.

Наиболее эффективным (среди испытанных) является способ охлаждения с помощью плавления парафинового стержня. Во-первых, очень быстро (за 1,25 мин) система охлаждения выходит на режим. Во-вторых, стабилизируются температура корпуса элемента и ток коллектора транзистора. В-третьих, что также важно, температура корпуса транзистора стабилизируется на более низком уровне.

Разомкнутую систему охлаждения с помощью плавящихся веществ можно использовать в ракетно-космической аппаратуре, где время работы мощных элементов может быть незначительным.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алексеев В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ.— М.: Энергия, 1975.

К. т. н. Л. Д. БУЙКО, к. ф.-м. н. В. Н. ПОНОМАРЬ, А. А. СОЛОНИНКО

Беларусь, г. Минск, НПО "Интеграл"
E-mail: belms@ belms.belpak.minsk.by

Дата поступления в редакцию
11.07 2001 г.

Оппонент *д. т. н. В. А. ПИЛИПЕНКО*
(«Белмикросистемы», г. Минск)

ДИАГНОСТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Показана возможность эффективного использования сложного аналитического оборудования при разработке и производстве изделий микроэлектроники.

Разработка современных высококачественных изделий и организация их производства с высокими технико-экономическими показателями невозможны без проведения комплекса аналитических исследований и измерений свойств используемых в составе изделий материалов и комплектующих, в т. ч. и анализа изменений (деградации) их свойств в экстремальных условиях эксплуатации.

Изделия микроэлектроники, в частности, полупроводниковые приборы (ППП) и интегральные микросхемы (ИМС), также требуют детального изучения состава, структурных свойств пленок, в т. ч. и межфазных границ. Такие исследования (измерения) можно проводить только с использованием сложного аналитического оборудования, обладающего высокой локальностью (<1,0 мкм) и точностью измерений, а также высокой степенью автоматизации. Этим требованиям удовлетворяют аналитические средства, основанные на использовании острофокусированных электронных, ионных и фотонных пучков, при взаимодействии которых с анализируемым объектом вторичные электроны, ионы, фотоны, рентгеновское излучение и др. несут информацию о микрорельефе, атомарном составе и др. свойствах исследуемых образцов.

В Минском научно-производственном объединении "Интеграл", являющемся одним из ведущих в Европе предприятий по разработке и производству изделий микроэлектроники (ИМС, ППП и др.), функционирует Государственный центр "Белмикроанализ", аттестованный в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь. Специалисты Центра знают тонкости современной технологии микросхем и владеют методами исследований и контроля параметров материалов и изделий микроэлектроники, что позволяет на современном уровне анализировать количественный и качественный элементный состав, структурно-морфологические и электрофизические свойства материалов.

Проводимые в ГЦ "Белмикроанализ" исследования обеспечивают выполнение НИОКР по разработке и совершенствованию конструкций, технологических процессов производства изделий микроэлектроники, поисковые работы по материаловедению для предприятий электронной промышленности, вузов и академических институтов Беларуси. При этом используется уникальное аналитическое оборудование известных зарубежных фирм, которое не только представлено единичными экземплярами в Республике Беларусь, но и является редкостью для стран СНГ, в частности:

Растровый электронный микроскоп высокого разрешения S-806 (Hitachi, Япония):

- съемка микрорельефа поверхности и сколов образцов с увеличением до ×100000 и разрешением до 4 нм;
- измерение линейных размеров микрообъектов более 0,1 мкм, погрешность ±0,02 мкм.

Растровый электронный микроскоп Stereoscan-360 (Cambridge Instruments, Англия) с энергетическим спектрометром AN-10000 (Link, Англия):

- качественный и количественный локальный рентгеноспектральный анализ элементного состава (элементы от B до U);
- разрешение по объему 1 мкм^3, чувствительность 0,1 атом. %.

Сканирующий электронный Оже-микрозонд PHI-660 (Perkin Elmer, США):

- качественный и количественный анализ элементного состава поверхности и по глубине;
- локальность 0,1 мкм, чувствительность 0,1 атом. %.

Ионный микрозонд IMS-4F (Cameca, Франция):

- анализ элементного состава поверхности и по глубине;
- количественный анализ примесей B, P, As, Sb, O, C в кремнии, примесей Cr, Si в арсениде галия;
- разрешение по глубине 20 нм, чувствительность до 10^{-6} атом. %.

Просвечивающий электронный микроскоп H-800 (Hitachi, Япония):

- анализ микрорельефа поверхности (реплики);
- изучение микроструктуры на просвет;
- электронно-графический анализ;
- изучение структуры сколов на просвет;
- разрешение до 0,5 нм;
- увеличение до ×1000000.

Измеритель параметров полупроводниковых структур HP-4061A (Hewlett-Packard, США):

- анализ электрофизических параметров диэлектрических, полупроводниковых слоев и границ раздела меж-

ду ними на основе измерений токов (>0,01 пА, ±0,2%), емкостей (>10 фФ, ±0,2%), индуктивностей (>1 пГн, ±0,2%).

Прецизионный анализатор параметров полупроводников HP4156B (Hewlett- Packard, США):

· аналитические исследования ВАХ элементной базы ИМС;

· экстракция SPICE-параметров базовых элементов на основе DC—CV измерений;

· диапазоны измерений: напряжение — 2 мкВ...100 В, ток — 10 фА...100 мА.

Система цифровой микрофотосъемки на базе микроскопа Leica INM 100 (Германия) и цифровой камеры Polaroid DMC 1e (США):

· контроль внешнего вида образцов на отражение при увеличении от ×16 до ×1600 в режимах светлого и темного полей;

· цифровая микрофотосъемка наблюдаемого образца с разрешением 400×300, 800×600, 1600×1200 точек на кадр и глубиной по каждому основному цвету 8 или 12 бит;

· автоматическая покадровая съемка слоя ИМС при помощи прецизионного сканирующего столика (погрешность сканирования не более 0,1 мкм) с последующей сшивкой кадров в единое масштабированное изображение.

Тепловизионная система Thermovision-880 (Agema, Швеция):

· контроль распределения температуры по поверхности микро- и макрообъектов в реальном масштабе времени в диапазоне температур -20...+1600°С с разрешением 0,1°С и по площади ≥(20×20) мкм^2.

Спектрофотометры — MPV-SP (Leica, Германия), Specord-M40, Specord-M80 (Carl Zeiss, Германия):

· анализ оптических характеристик прозрачных материалов в диапазоне длин волн 0,2…50 мкм, в т. ч. в локальных областях ≥(5×5) мкм^2.

Наличие в Центре широкого спектра аналитических средств позволяет осуществлять комплексную оценку параметров и свойств материалов и изделий микроэлектроники:

— арбитражную техническую экспертизу ИМС, дискретных ППП и радиокомпонентов для установления физических механизмов и причин отказов;

— экспертную оценку качества тонкопленочных и других твердотельных материалов по анализу их количественного и качественного элементного состава, в т. ч. микродефектов, инородных частиц в заданной точке и распределение элементов по поверхности и объему образца;

— анализ структурно-морфологических свойств твердотельных материалов, различных тонкопленочных композиций, полупроводниковых структур, в т. ч. и их вертикальных сечений, с субмикронным разрешением;

— измерение электрофизических и оптических параметров твердотельных образцов, в т. ч. R, C, L-метрия, определение вольтамперных (ВАХ) и вольтфарадных (ВФХ) характеристик отдельных элементов интегральных микросхем с локальностью "микрозондового" контактирования порядка 1×5 мкм, распределения температуры по поверхности микро- и макрообъектов, спектрофотометрические измерения состава оптически прозрачных материалов;

— расчет SPICE-параметров элементной базы ИМС и ПП для диапазона температур –60...+150°С с использованием программного обеспечения ICCAP.

ГЦ "Белмикроанализ" выполняет на договорной основе широкий спектр работ в пределах своей области аккредитации не только для НПО "Интеграл", но и для многих предприятий и научных учреждений Беларуси и стран СНГ. При этом номенклатура работ выходит за рамки изделий электронной техники (например, использование тепловидения для диагностики агрегатов Минских ТЭЦ-3, -4, исследование состава археологических объектов из бронзы и чугуна, исследование состава поверхности металлокордовой проволоки и многие другие, не свойственные микроэлектронике, работы).

Однако основным назначением аналитических средств ГЦ "Белмикроанализ" является метрология наукоемкого производства, каким является разработка и серийное изготовление ППП и ИМС в НПО "Интеграл". Это обусловлено высокой стоимостью и сложностью технологического процесса производства данных изделий (несколько сотен прецизионных физико-химических технологических операций), а также необходимостью поставок по кооперации, в т. ч. и внутрифирменной, большого количества материалов, комплектующих и др. для производства изделий микроэлектроники. В этих условиях метрологическое единство измерений параметров материалов, полупроводниковых структур, в т. ч. и на отдельных технологических операциях, обуславливает надежность и качество изготавливаемых изделий и, в конечном итоге, высокие технико-экономические показатели производства для обеспечения их конкурентоспособности как на внутреннем, так и на внешнем рынках сбыта [1].

Среди большого количества измеряемых электрофизических параметров при входном контроле материалов и межоперационном контроле полупроводниковых структур важное значение имеют количественный состав примесей (>10^{13} ат/см^3) и геометрические размеры, в частности, толщины тонких (>1нм) диэлектрических и полупроводниковых пленок [2].

Известно, что примеси щелочных металлов (Na, K, Li) обладают малым ионным радиусом и, соответственно, высокой подвижностью. Их внедрение в полупроводниковые структуры через используемые в процессе производства ППП, ИМС реактивы, газообразные среды, оснастку и др. существенно влияет на надежность ППП, ИМС, вызывая зарядовую нестабильность изделий микроэлектроники и, соответственно, их отказы как при квалификационных испытаниях, так и у потребителя изделий. В связи с этим контроль методом вторично-ионной масс-спектроскопии (ВИМС) содержания щелочных металлов в полупроводниковых структурах является комплексной оценкой качества технологического процесса (чистоты используемых кислот, растворителей, газовых сред и др.) производства изделий микроэлектроники. Наличие в ГЦ "Белмикроанализ" стандартных образцов фирмы Motorola (США) содержания Na, K,

Li в полупроводниковых структурах позволяет осуществлять достоверный анализ их количественного состава. Нами экспериментально установлено, что предельно допустимое суммарное содержание щелочных металлов для ППП и ИМС с одноуровневой металлизацией не должно превышать 10^{12} ат/см^2, а для многоуровневой – 10^{13} ат/см^2.

Большой экономический эффект имеет проводимый в ГЦ "Белмикроанализ" количественный контроль содержания примесей в особо чистом полупроводниковом кремнии. Этот основной в производстве ИМС дорогостоящий материал поставляется по кооперации из России и Украины и требует постоянного входного контроля. Так, наши исследования показали, что при содержании неосновной примеси B в Si на уровне более 10^{14} ат/см^3 практически невозможно получить заданные параметры изготавливаемых изделий для телевизионной и силовой электроники и др. При этом используется комплект Государственных стандартных образцов (ГСО) и стандартных образцов (СО) производства Российской Федерации по количественному содержанию основных примесей в кремнии и арсениде галлия, в частности:

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного бором (ГСО 4982—89);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного фосфором (ГСО 4983—89);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического арсенида галлия ионнолегированного кремнием (ГСО 5441—90);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического арсенида галлия ионнолегированного хромом (ГСО 5442—90);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного сурьмой (Si:Sb) (СО 22-223—99);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного мышьяком (Si:As) (СО 21-223—99);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного кислородом (Si:O) (СО 23-223—99);

— стандартный образец состава поверхностных слоев монокристаллического кремния ионнолегированного углеродом (Si:C) (СО 24-223—99).

Известно, что основным процессом изготовления ИМС является планарно-эпитаксиальная технология, основанная на принципе группового изготовления кристаллов ИМС путем

— эпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев на поверхности полупроводниковых и диэлектрических подложек;

— наращивания одно- и многослойных диэлектрических покрытий на пластины;

— проведения фотолитографических процессов и локального травления диэлектриков для последующего создания активных и пассивных элементов методами термической диффузии или ионно-плазменного легирования и травления;

— нанесения тонких металлических слоев и создания методами фотолитографии металлизированных разводок.

В связи с этим толщина слоя становится важным параметром конструкции ИМС, и особое значение приобретает единство измерений при контроле толщин тонких пленок.

В ГЦ "Белмикроанализ" разработана конструкция и методика аттестации стандартных образцов предприятия (СОП) для контроля толщины тонких диэлектрических слоев на кремнии. Метрологическая аттестация СОП осуществляется на аттестованном метрологической службой НПО "Интеграл" эллипсометре ЛЭФ 3М-1 производства России. СОП толщины диэлектрических пленок поставляются в цеха серийного производства изделий (ППП, ИМС и др.) и надежно обеспечивают контроль работы различных измерительных систем (толщиномеров, эллипсометров, профилометров и др.).

Таким образом, эффективное использование аналитического оборудования при проведении комплекса исследований и измерений свойств используемых в составе изделий материалов и комплектующих позволяет организовать входной контроль количественного состава примесей на уровне >10^{12} ат/см^2 в полупроводниковом монокристаллическом кремнии, в полупроводниковых структурах, контроль геометрических размеров элементов изделий, толщин тонких (>1,0 нм) пленок диэлектриков, металлов и полупроводников, что, в свою очередь, обеспечивает высокие технико-экономические показатели разработки и производства изделий микроэлектроники.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Контроль в технологии микроэлектроники / Колешко В. М., Гойденко П. П., Буйко Л. Д. — Минск: Наука и техника, 1978.

2. Белоус А. И., Буйко Л. Д., Пономарь В. Н. Экспедиция внутрь кристалла // Техника. Экономика. Организация.— 1998.— № 2.— С. 34—35.

К. т. н. Л. И. ПАНОВ, Р. Г. СИДОРЕЦ

Украина, г. Одесса, Науч.-исследов. технологический ин-т «Темп»
E-mail: kpra@rtf.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию
11.05 2001 г.

Оппоненты
к. т. н. Т. С. ЛЕБЕДЕВА («ИК НАНУ», г. Киев),
В. И. СЛОБОДЯНИК («Одри», г. Одесса)

ОПЫТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрены материалы и оборудование, разработанные для производства толстопленочных гибридных интегральных схем и монтажа на поверхность.

Одним из наиболее перспективных путей повышения качества, надежности, потребительских свойств и конкурентоспособности электронной аппаратуры по-прежнему остается применение гибридной, особенно толстопленочной, технологии изготовления функциональных узлов [1].

Широкое применение и постоянный рост объемов использования толстопленочной технологии фирмами развитых стран обусловлены рядом ее достоинств и преимуществ. Многолетний опыт авторов в этой области позволяет отнести к их числу простоту, доступность для предприятий, разрабатывающих и выпускающих электронную аппаратуру, высокую производительность, возможность автоматизации, относительно малые капитальные затраты, небольшую стоимость средств технологического оснащения, отсутствие жестких требований к помещениям. Толстопленочная технология применяется для изготовления многоуровневых схем, схем с высокой плотностью монтажа, схем высокой частоты, высокого напряжения, повышенной мощности, она обеспечивает ремонтопригодность, высокую надежность, возможность использования широкой гаммы электрорадиоэлементов и интегральных схем различного конструктивного исполнения, оперативность разработки, гибкость в смене продукции, широкий диапазон характеристик пленочных элементов и возможность уменьшения настроечно-регулировочных работ за счет статической и функциональной (динамической) подгонки. Изготовление толстопленочных плат удачно дополняется сборкой и монтажом электронных компонентов на их поверхность.

Гибридная технология не лишена и недостатков. По сравнению с традиционными платами печатного монтажа изготовление опытных образцов несколько длительнее и дороже, затруднен монтаж крупногабаритных компонентов, дороже замена неисправного модуля. В сравнении с монолитной гибридную технологию отличает более высокая стоимость, более низкая степень интеграции. Однако сочетание малых сроков разработки и освоения в производстве с резким уменьшением массогабаритных показателей делает толстопленочную технологию весьма эффективной.

Действительно [2], в мире на толстые пленки приходится 70—90% выпуска ГИС, технологией толстых пленок владеют все крупные изготовители электронной аппаратуры. Номенклатура элементной базы, выпускаемой фирмами США, Японии, стран ЕЭС и СНГ, вполне достаточна для реализации самых современных и высококачественных изделий.

В Украине имеется необходимая база материаловедения, которая обеспечивает возможность создания микросборок. Для толстопленочной технологии разработаны, освоены в производстве и выпускаются комплекты композиционных паст, керамические подложки и другие специальные материалы, а также специальное технологическое оборудование, средства механизации и гибкой автоматизации.

Так, в конце 1980-х годов освоено производство подложек из керамики ВК 96-1 ("Алсимаг" — 96% оксида алюминия) размерами до 96×120×0,6 мм. Применение этих подложек позволяет создавать гибридные функциональные узлы высокой сложности, изготавливать микросборки с мультипликацией, повышая производительность печати, термообработки, сборки и монтажа. Подложки, выпускаемые ПО "Титан" (г. Антрацит Луганской области) по ДЛ60.737.003 ТУ, имеют следующие характеристики:

- допуск на размер — 1%;
- прочность — не ниже 2500 кгс/см^2;
- диэлектрическая проницаемость — не более 11;
- тангенс угла диэлектрических потерь — не хуже $5 \cdot 10^{-4}$;
- пробивное напряжение — не меньше 10 кВ/мм;
- коэффициент теплопроводности — 6 Вт/(м·К).

Недостатком таких подложек является относительно высокая стоимость, да и размеры не полностью соответствуют требованиям разработчиков аппаратуры.

В НИТИ "Темп" разрабатывается *стеклокерамика* — новый для гибридной микроэлектроники материал, который содержит до 50% оксида алюминия и несколько уступает по тепловым характеристикам (коэффициент теплопроводности в 2—3 раза ниже, чем у подложек "Алсимаг" и 22ХС (ВК 94-1)). Однако у подложек из стеклокерамики целый ряд преимуществ: дешевизна (стоимость меньше примерно в 10 раз), возможность изготовления многоуровневых схем (типа МКП-2), возможность изготовления

корпусов микросхем, электрических изоляторов, синтез при температурах до 900°С. Практически первой операцией изготовления толстопленочных схем может быть обжиг шликерной ленты в тех же печах, где вжигаются толстопленочные элементы.

Основные параметры стеклокерамики:

- величина диэлектрической проницаемости — 6—9;
- тангенс угла диэлектрических потерь — $(5...20)\cdot10^{-4}$;
- удельное объемное сопротивление — 10^{14} Ом·см;
- пробивное напряжение — не ниже 10 кВ/мм.

Кроме оксида алюминия, в качестве наполнителя может использоваться и более теплопроводный материал, можно добиться и лучшего совмещения по ТКЛР с керамическими носителями кристаллов. Размер стеклокерамических оснований ограничивается только возможностями литья шликерной ленты и шириной муфеля печи обжига.

Разработаны, освоены в производстве и широко используются предприятиями Украины и России комплекты *композиционных паст*.

Для изготовления микросборок на традиционно применяемых подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1) создана система паст повышенной стабильности **"Интеграл"**.

В систему паст "Интеграл" входят проводниковые золотосодержащая паста 1005, серебро-платиновая паста 4205, паста на основе серебра, палладия и платины 4351 (АУКО.027.004 ТУ). Сопротивление квадрата проводниковой пленки от 0,005 до 0,05 Ом/□, адгезия к подложке не менее 60—100 кгс/см, растекаемость не более 25 мкм на сторону. Пленки облуживаются низкотемпературными припоями (ПОС-61 и ПОССр-3-58), обладают достаточной стойкостью к выщелачиванию.

Резистивные пасты серии 5000 (АУКО.027.005) в составе системы паст "Интеграл" позволяют изготавливать резисторы сопротивлением (R) от 5 Ом/□ до 1 МОм/□ при температурном коэффициенте сопротивления (ТКС) $\pm150\cdot10^{-6}$ 1/°С для R от 5 до 500 Ом/□ и 1 МОм/□, $\pm100\cdot10^{-6}$ 1/°С для R от 1 до 500 кОм/□. Уровень шумов резисторов в пределах ±15 дБ, коэффициент напряжения не более $5\cdot10^{-4}$ 1/В.

Диэлектрическая изоляционная 0031 и защитная 0011 (АУКО.027.005 и АУКО.027.007 ТУ) пасты из системы паст "Интеграл" позволяют изготавливать гибридные схемы до 5—6 уровней проводников. Для пасты 0031 удельная электрическая емкость не превышает 500 пФ/см^2, напряжение пробоя более 600 В, тангенс угла диэлектрических потерь не более 10^{-3}. Защитная паста 0011 имеет пробивное напряжение более 300 В, изменяет сопротивление резисторов не более чем на 5%.

Система паст используется при разработке и серийном выпуске изделий специального назначения.

Высокий уровень электрических параметров паст системы "Интеграл" достигается благодаря использованию в резисторах соединения рутения, стекол, снижающих и компенсирующих ТКС, специальных стекол, в т. ч. кристаллизующихся. Для ряда заказчиков проводится приемка согласно ОТУ АУКО.027.014 ТУ.

Система паст повышенной стабильности имеет средний срок сохраняемости 6 мес. Интенсивность отказов резисторов $1,6\cdot10^{-8}$ 1/ч, минимальное время безотказной работы $1,8\cdot10^{6}$ ч, гарантийный средний срок хранения резисторов 15 лет.

Разработан комплект технологической документации на производство и применение паст. Отметим, что вжигание всех паст в течение 10—15 мин при одной температуре — 870±5°С (для защитной — в течение 5—7 мин при 520±5°С) позволяет проводить вжигание в одной конвейерной печи.

Система паст повышенной стабильности **"Аналог"** (соответствует пастам 1400, 1600 фирмы Дюпон (США)) предназначена для применения с подложками из керамики «Алсимаг». В систему входят пасты проводниковые 4320 (АУКО.027.012 ТУ) на основе серебра и палладия, резистивные серии 5200 (АУКО.027.014 ТУ), а также защитная паста 0011 (из системы паст "Интеграл").

Сопротивление проводниковой (4320) пленки не превышает 0,02 Ом/□, величина адгезии к подложке не менее 50 кгс/см^2, растекаемость на сторону не более 50 мкм. Проводник облуживается припоями ПОС-61 (стойкость 5—6 с), ПСр0СЗ-58 (стойкость 7—9 с).

Резистивные пасты серии 5200 обеспечивают получение толстопленочных резисторов сопротивлением 250 Ом от 100 Ом/□ до 1 МОм/□ (декадная шкала) при ТКС не более $\pm100\cdot10^{-6}$ 1/°С, уровне шумов ±20 дБ. Изменение сопротивления резисторов после воздействия термоциклирования (5 циклов –60... +125°С) — 0,5% для резисторов без подгонки, 1% — для подогнанных лазером резисторов. Аналогичные данные по стабильности характерны и после воздействия расплавленного припоя (+235°С, 10 с), повышенной (+150°С, 48 ч) температуры, электрической нагрузки 10 Вт/см^2 (46 ч, 85°С), а также при воздействии повышенной влажности (+40°С, 98%, 30 сут).

Система паст "Аналог" также имеет комплект технологической документации на изготовление и применение, пасты внедрены на ряде предприятий для изготовления профессиональной аппаратуры.

Высокая стабильность и повторяемость результатов достигается применением в составе паст рутената висмута (для резисторов) и специальных стекол.

Пасты вжигаются при температуре 855±5°С (10—15 мин). После нанесения их высушивают при температуре 120—150°С в течение 10—20 мин. Применение органического связующего на основе раствора этилцеллюлозы в терпинеоле с сосновым маслом позволяет не только обеспечить высокое разрешение печати, но и использовать кассетирование плат в автоматизированном оборудовании.

В настоящее время завершена разработка диэлектрической изоляционной пасты, дополняющей комплект системы "Аналог", при этом разработка пасты проводилась с целью гарантировать перечисленные параметры и после нанесения резистивных паст серий 5000 и 5200 на диэлектрический изоляционный слой.

Применение толстопленочной технологии в производстве микросборок для массовой электронной аппаратуры могло бы стать особенно эффективным, если бы удалось исключить применение при

изготовлении плат драгоценных металлов. С этой целью разработана система бездрагметальных паст **"Виза"**. В нее включены:

— проводниковые пасты 0920 (АУКО.027.021 ТУ) на основе меди и 0760 (АУКО.027.022 ТУ) на основе никеля;

— резистивные пасты на основе молибдена ПРМ (100, 500, 10^3, $3 \cdot 10^3$, $6 \cdot 10^3$, $20 \cdot 10^3$ Ом), 9700 (30, 60, $5 \cdot 10^4$, 10^5, $5 \cdot 10^5$, 10^6 Ом);

— диэлектрические изоляционные 0025 и 0026 (АУКО.027.003 ТУ);

— пасты защитные 0911 и ТГ-90 (ТГО.027.003 ТУ и АУКО.027.022 ТУ).

Пасты без драгоценных металлов характеризуют следующие параметры.

Никелевые и медные проводниковые пасты имеют удельное сопротивление соответственно 0,06 Ом/□ при толщине проводника 25±5 мкм и 0,02 Ом/□ при толщине 14±3 мкм. Величина адгезии составляет не менее 50 кгс/см^2, растекаемость паст на сторону — 50 мкм.

Медные проводники, вжигаемые под маской, облуживаются припоем ПОС-61 (допускают 3 цикла лужения по 5—6 с).

Резистивные пасты имеют удельное сопротивление от 30 Ом/□ до 1 МОм/□. Всего в сериях ПРМ и 9700 12 номиналов паст с ТКС от ±150—200 до $\pm 1000 \cdot 10^{-6}$ 1/°С. Пасты совместимы с никелевыми и серебро-палладиевыми проводниковыми пастами. Могут использоваться на подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1), "Алсимаг", а также на ситалловых основаниях СТ-50. При этом уровень шумов составляет ±(5...20) дБ, коэффициент напряжения — $(10...30) \cdot 10^{-4}$ 1/В.

Диэлектрические изоляционные пасты 0025 и 0026 предназначены для применения соответственно на подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1) и на ситалловых подложках для изготовления переходов (кроссоверов). Удельная емкость слоев не превышает 500 пФ/см^2, напряжение пробоя не менее 500 В, растекаемость не превышает 50 мкм на сторону. Диэлектрические защитные пасты С911 и Т-90 обеспечивают при совместном использовании пробивное напряжение не менее 300 В, растекаемость на сторону не более 65 мкм.

Элементы плат, изготовленные при использовании системы паст "Виза" и защищенные полимерным эластичным компаундом, выдерживают воздействие пяти термоциклов (+125...–60°С), повышенной (до +85°С) рабочей температуры в течение 1000 ч (удельная мощность рассеяния до 3 Вт/см^2), повышенной относительной влажности воздуха (98%) (при температуре +40°С в течение 10 сут — проводники, в течение 30 сут — резисторы).

На систему паст "Виза" разработана технологическая документация — и на изготовление, и на применение паст.

К пастам для толстопленочных микросборок относятся и пасты серии ПЛ — лудящие, которые могут применяться для монтажа электронных компонентов на поверхность как плат микросборок, так и плат печатного монтажа. Это ПЛ-111, -211, -112, -312, -423 на основе неокисленных частиц сферической формы (размером от 5 до 100 мкм) порошков припоя ПОС-61, ПОС К 50-18, ПОССу 61-0,5 или ПсрОС 3-58.

Флюсы-связки паст — на основе канифольных композиций (только ПЛ-111, -211 — на основе использования активатора — гидразина солянокислого). Остатки связки отмываются хлористым метиленом, ацетоном или другими органическими растворителями (ПЛ-111, -211 — водой). Температура пайки лудящими пастами составляет 180...240°С в зависимости от типа припоя, растекаемость паст при оплавлении не превышает 150 мкм. Пасты, обладая высокой клеющей способностью, обеспечивают возможность установки и фиксации навесных компонентов.

Средний срок сохраняемости лудящих паст обычно составляет 3 мес. Пасты поставляются в готовом к применению виде и в виде полуфабрикатов, что существенно (до 6—12 мес и более) увеличивает срок сохраняемости. Пасты могут наноситься трафаретной печатью через сетчатый, фольговый или комбинированный трафарет, а также дозаторами или штемпелеванием.

Для выпуска паст разработан комплект специального технологического оборудования (СТО), который изготавливается в небольшом объеме для оснащения собственного производства. Комплект СТО включает шаровые и шаровые планетарные мельницы, пастотерки, смесители и др. Применение его позволяет увеличить объем одной партии с 30 до 120 г, а с учетом перемешивания в планетарных смесителях — усреднять партии до 3—6 кг. Это повышает качество паст и воспроизводимость параметров толстопленочных элементов.

Повышению качества толстопленочных элементов служит также применение комплекта СТО "Темп", предназначенного для оснащения гибкого автоматизированного производства и включающего гибкие производственные модули трафаретной печати, сушки, вжигания, контроля, подгонки, скрайбирования и гибкую автоматизированную линию сборки микросборок. Все оборудование объединено манипуляторами и роботами, что значительно повышает производительность.

Одним из перспективных направлений развития технологии изготовления монтажных оснований для узлов и блоков бытовой электроники является толстопленочная технология с применением полимерных паст, позволяющая изготовить аддитивным методом основания для схемных плат.

К настоящему моменту разработаны технологические процессы и материалы для изготовления одно- и двухсторонних плат на подложках из нефольгированного стеклотекстолита и алюминия. Сущность технологии заключается в нанесении методом трафаретной печати полимерной проводниковой пасты с последующим химическим меднением. Разработаны метод и оборудование для толстопленочной металлизации отверстий путем нанесения на их стенки полимерной проводниковой пасты. Применение этих методов является новым в отечественной и зарубежной практике. Трудоемкость изготовления двухсторонних схемных плат по новой технологии взамен обычных пе-

чатных плат составляет 3—5 н-ч на 1 м^2, стоимость материалов составляет 20—23 грн за 1 м^2.

Дополнительными преимуществами этого направления являются применение недефицитного нефольгированного стеклотекстолита СТЭФ-1, исключение хлористого палладия из технологии металлизации отверстий и исключение процесса регенерации или очистки насыщенных отработанных травильных растворов.

Разработанная технология позволяет изготавливать двухсторонние платы, соответствующие печатным платам 2—3-го классов точности.

Завершается разработка перспективной системы полимерных паст, включающей проводниковую пасту, не требующую дополнительного меднения. Это позволит осуществлять изготовление односторонних, двухсторонних и многослойных плат на нефольгированных диэлектриках толстопленочным методом, полностью исключив операции, требующие очистки сточных вод либо регенерации растворов. Вместе с медной проводниковой пастой в разрабатываемую систему входят диэлектрические пасты с высокой разрешающей способностью, при отверждении которых применяется ультрафиолетовое излучение (межслойная изоляция и паяльная маска), а также проводниковая паста, позволяющая исключить золочение контактов клавишных коммутационных панелей.

Расчетное сокращение затрат при применении указанных паст составляет (на 1 м^2):

— по трудоемкости — для односторонних плат 0,5—0,8 н-ч, для двухсторонних — 6,0—7,0 н-ч, для многослойных — 5,0—8,0 н-ч;

— по стоимости материалов — для односторонних плат 1,5—2 грн, для двухсторонних — 15—20 грн, для многослойных — 25—30 грн.

Применение разработанных систем паст и специального технологического оборудования толстопленочной технологии в производстве специальной, профессиональной и бытовой электронной аппаратуры обеспечивает значительное повышение конкурентоспособности изделий. Опыт разработки и выпуска таких изделий подтвердил:

— возможность уменьшения массы и габаритов изделий бытовой РЭА в 3—5 раз;

— повышение надежности в 4—5 раз за счет уменьшения числа паяных контактов, использования керамических или ситалловых оснований, композиционных стеклосодержащих проводников и резисторов;

— возможность усложнения изделий, повышения функциональных характеристик бытовой радиоэлектроники наряду с сохранением (или уменьшением) массы и габаритов, что позволяет повысить потребительские свойства, качество и сервисные возможности (блоки электроники имеют одноплатную групповую конструкцию);

— возможность создания изделий бытовой электроники на мировом уровне по массе, габаритам, электрическим параметрам;

— возможность гибко дополнять изделия введением новых узлов, обеспечивающих повышение конкурентоспособности при сохранении базовых конструкций, массы, габаритов и надежностных показателей;

— при использовании микросборок наиболее полно и эффективно используется прогрессивный функционально-узловой принцип конструирования;

— при производстве узлов и блоков на микросборках сокращается доля механообработки и, что особенно важно, за счет статической и функциональной подгонки резко снижается объем настроечно-регулировочных и ремонтных работ.

***

В связи с дальнейшим развитием технологии изготовления электронной аппаратуры по линии применения технологии монтажа на поверхность (ТМП), которая является логическим продолжением толстопленочной технологии, роль методов и технологии толстых пленок для электронной аппаратуры возрастает.

Наиболее эффективным при создании изделий электронной аппаратуры является сочетание всех видов технологии с использованием сильных сторон каждой из них. Поэтому дополнение технологии печатного монтажа в ТМП гибридной технологией (в первую очередь толстопленочной) позволяет значительно повысить эффективность изделий.

Разработанное в Украине технологическое обеспечение толстопленочной технологии позволяет при создании электронных средств использовать и сочетать все виды современных технологий и преодолеть целый ряд ограничений и недостатков электронной аппаратуры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Толстопленочная микроэлектроника / В. Г. Гребенкина, В. С. Доброер, Л. И. Панов, Ю. П. Тризна. — Киев: Наук. думка, 1983.

2. Панов Л. І. Конструювання і технологія радіомонтажу на поверхню.— Одеса: ОДПУ, 1998.

К. т. н. О. Н. НЕГОДЕНКО, С. Г. КОШЕЛЕВ,
к. т. н. В. И. СЕМЕНЦОВ, Ю. П. МАРДАМШИН

Россия, Таганрогский гос. радиотехнический университет
E-mail: metbis@fep.tsure.ru

Дата поступления в редакцию
16.02 2001 г.
Оппонент *к. т. н. В. С. ГОЛУБ*
(НПФ «VD MAIS», г. Киев)

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ИНДУКТИВНЫЕ БАЛАНСНЫЕ СЕНСОРЫ С КАТУШКАМИ КВАДРАТНОЙ И ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Конструкции микроэлектронных сенсоров могут использоваться в датчиках силы, давления, массы, при разбраковке металлических цилиндров.

Индуктивный балансный сенсор (ИБС) содержит две катушки индуктивности (КИ), сдвинутые друг относительно друга на определенное расстояние, при котором подача напряжения на одну из катушек не вызывает появления напряжения на второй катушке. Это можно рассматривать как отсутствие между ними взаимной индуктивности или считать, что сенсор в этом случае сбалансирован. При кольцевой форме катушек условие баланса ИБС с учетом расстояния между плоскостями катушек приведено в [1]. Из-за неидеальности катушек при балансе ИБС напряжение на второй катушке не равно нулю, но очень мало (U_0).

В большинстве датчиков на основе ИБС используется явление увеличения напряжения на второй катушке при приближении к ИБС металлической пластины, если первая катушка подключена к генератору сигналов. Чувствительность ИБС, определяемая как отношение приращения выходного напряжения к приращению расстояния между ИБС и металлической пластиной, зависит от формы катушки ИБС. ИБС с катушками простейших форм показаны на **рис. 1** (здесь катушки условно изображены одновитковыми). Эксперимент показывает, что наибольшей чувствительностью обладает ИБС, изображенный на рис. 1, *в*. При одинаковых числе витков, периметрах катушек, расстояниях между ИБС и металлической пластиной отношение выходного напряжения к U_0 для ИБС рис. 1, *в* примерно в 3 раза превышает это отношение для ИБС рис. 1, *а* и *б*.

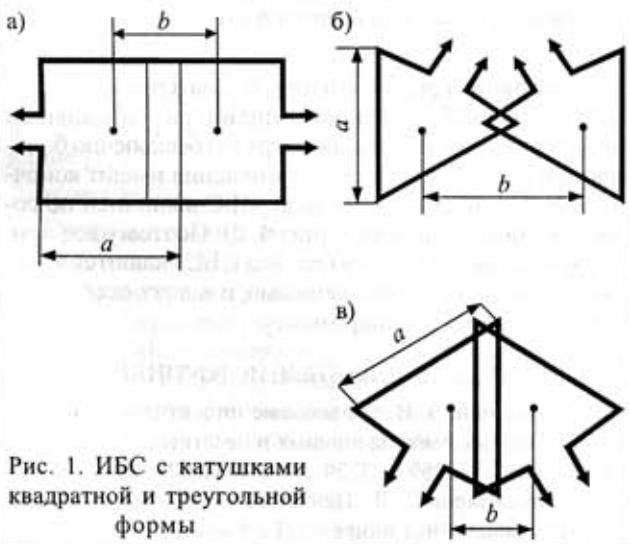


Рис. 1. ИБС с катушками квадратной и треугольной формы

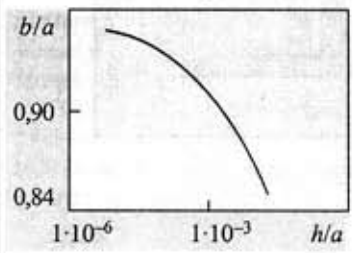


Рис. 2. Условие баланса для ИБС с катушками квадратной формы

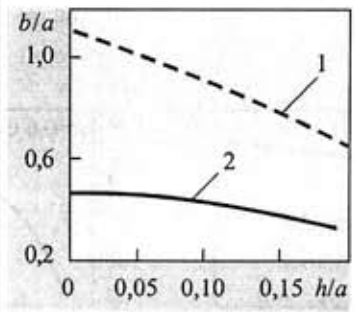


Рис. 3. Условие баланса для ИБС с катушками треугольной формы: *1* — для контуров, показанных на рис. 1, *б*; *2* – для контуров, показанных на рис. 1, *в*

При аналитическом определении условия баланса с учетом расстояния между плоскостями катушек квадратной и треугольной формы, основанном на методе, приведенном в [2, с. 67], получаются очень громоздкие выражения. Поэтому была использована программа Mathcad 7 Professional; результаты расчетов представлены в форме графиков на **рис. 2** и **3**. Видно, что расстояние между плоскостями катушек заметно влияет на условие баланса ИБС. Учет этого влияния важен при проектировании микроэлектронных ИБС (**рис. 4**), в которых экспериментальное установление баланса путем перемещения одной из катушек затруднено.

ИБС способен сбалансироваться и при расположении его вблизи металлической пластины на расстоянии D, что может использоваться при реализации датчиков силы, давления, массы. Условие баланса ИБС, приведенного на рис. 4, *а* при a=10 мм, $h/a=5\cdot10^{-5}$, длине стороны квадратной металлической пластины $l=100a$, показано на **рис. 5**. Видно, что

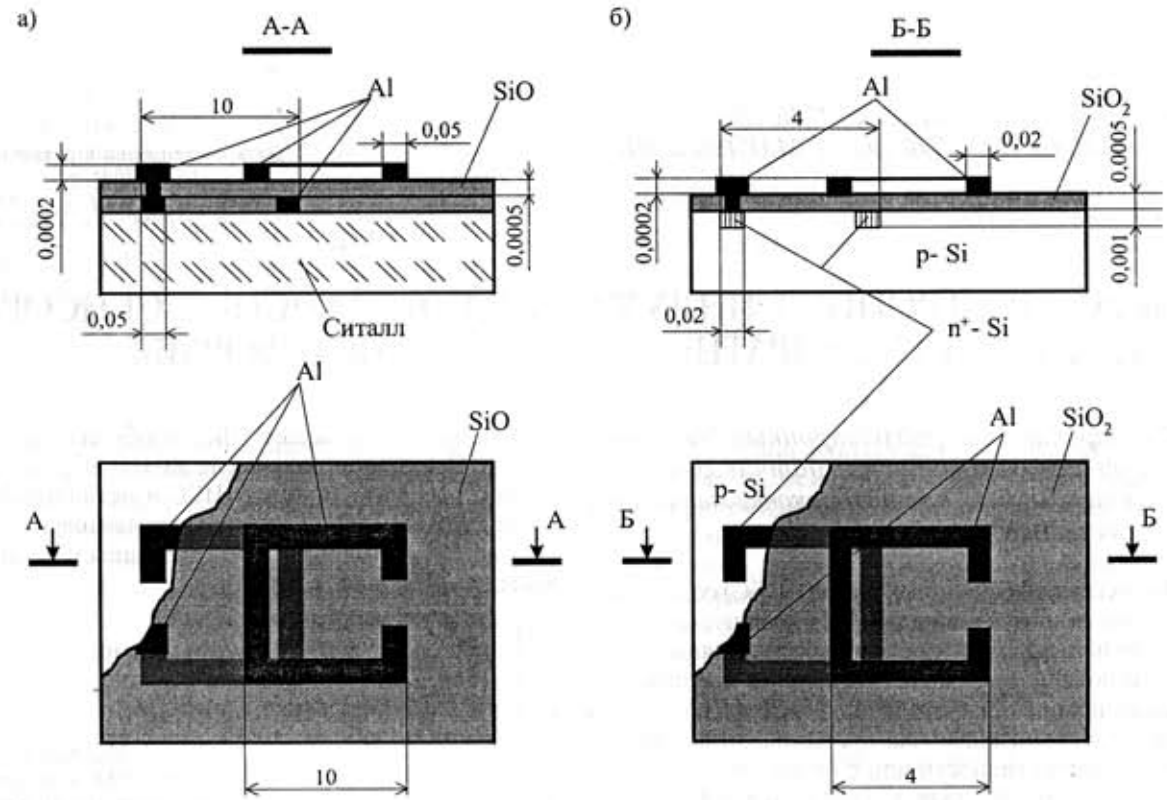


Рис. 4. Варианты конструкций микроэлектронного ИБС, созданного методами тонкопленочной (*а*) и совмещенной (*б*) технологий

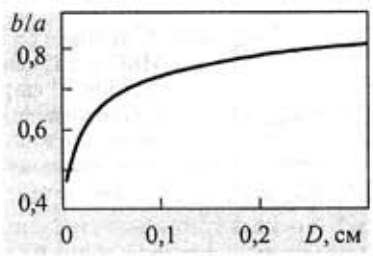


Рис. 5. Условие баланса ИБС, расположенного вблизи металлической пластины

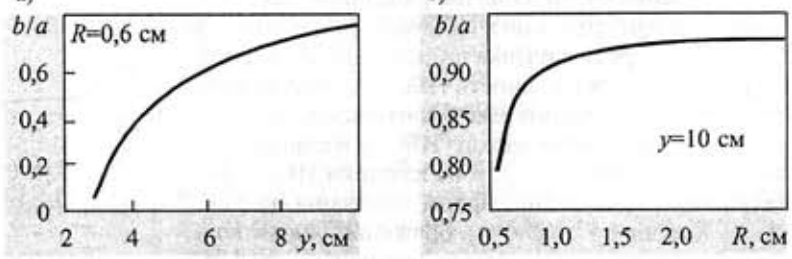


Рис. 6. Условия баланса ИБС при изменении длины металлического цилиндра *y* (*а*) или радиуса *R* (*б*)

металлическая пластина существенно влияет на условие баланса ИБС. Поэтому ее приближение под действием внешней силы к ИБС будет приводить к росту напряжения на второй катушке ИБС, если первая подключена к генератору. Получается датчик силы, давления, массы.

ИБС может сбалансироваться и при расположении его по центру внутри металлического цилиндра длиной *y* и радиусом *R*, что можно использовать для разбраковки цилиндров по диаметру и длине. При использовании тонкопленочного ИБС с вышеоговоренными параметрами условия баланса имеют вид, представленный на **рис. 6**. Видно, что длина цилиндра значительно влияет на условия баланса, а радиус цилиндра начинает заметно влиять при его значениях менее *a*.

В расчетах предполагалось, что материал катушек, металлической пластины и цилиндра – идеальный проводник, сопротивление нагрузки бесконечно большое. В реальности все сопротивления имеют конечные величины, особенно если ИБС выполнен по совмещенной технологии (рис. 4, *б*). Поэтому все приведенные выше условия баланса ИБС являются в значительной мере приближенными, и значит, особое значение отводится эксперименту.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Семенцов В. И. О проблеме индуктивных связей в многослойных тонкопленочных и печатных схемах // Радиотехника.— 1969.— Т. 24, № 12.— С. 92—95.

2. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга.— Л.: Энергоатомиздат, 1986.

К. т. н. Э. А. ДМИТРИЕВ, С. В. ЕМЕЛЬЯНОВ, Я. В. ДЕРЕВЯГИН

Украина, Одесский нац. политехнический университет
E-mail: rtu@rtf.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию
28.04 2001 г.

Оппоненты
к. т. н. Е. А. ЧЕМЕС (ОНПУ, г. Одесса),
к. т. н. В. В. ДАНИЛОВ (ДонНУ, г. Донецк)

ИМИТАТОР СИГНАЛОВ РОТОРНОГО МАШИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Имитатор может служить для тестирования и настройки диагностической аппаратуры, моделирования режимов работы роторных машин, в том числе аварийных ht;bvjd.

От надежности функционирования систем контроля, диагностирования и аварийной защиты (СКДА) зависит безопасность эксплуатации оборудования. В свою очередь, сами СКДА нуждаются в систематическом контроле, а разработка, исследование и доводка систем СКДА нуждаются в надежных средствах поверки.

В настоящее время разработан ряд приборов для диагностирования машинного оборудования. Однако их исследование обнаружило несоответствие получаемых результатов характеристикам реального объекта контроля, в т. ч. из-за влияния на измеряемые сигналы, приводящего к неверной интерпретации результатов обработки. Выявление и устранение этих недостатков может быть произведено с помощью разработанного имитатора сигналов машинного оборудования, исключающего влияние диагностической аппаратуры.

Целью настоящей работы является исследование применения имитатора быстроменяющихся параметров машин класса роторных, предназначенного для моделирования виброакустических сигналов, сигналов пульсаций давления в жидкостях и газах в проточных частях и других узлах, а также тестирования диагностического оборудования.

Измеряемые сигналы $x(t)$ объекта контроля содержат регулярную $r(t)$ и шумоподобную $\eta(t)$ составляющие [1, 2]:

$$x(t)=r(t)+\eta(t). \qquad (1)$$

Среди контролируемых параметров, содержащих диагностическую информацию, важнейшую роль играют параметры регулярной составляющей $r(t)$, связанной с оборотами ротора. Разработано устройство для ее оценки — измеритель параметров регулярной компоненты (ИПР) [1]. Наладка и поверка ИПР могут осуществляться с помощью имитатора в условиях, максимально приближенных к реальным. С этой целью формируется сигнал (1), регулярная составляющая которого $r(t)$ состоит из линейной комбинации гармоник роторной частоты nf_p, изменяющейся по заданному закону, и шумоподобной составляющей $\eta(t)$, представляющей реализацию случайного процесса типа белого шума.

Принцип действия имитатора заключается в моделировании электрических сигналов датчика оборотов ротора топливо-насосного агрегата (ТНА), быстроменяющихся параметров (БМП) датчиков виброускорений, пульсаций давления и т. д., модели динамического звена.

Задание режима работы имитатора осуществляется в соответствии с моделью циклограммы испытаний (**рис. 1**), настройками динамического звена и заданием времени аварии.

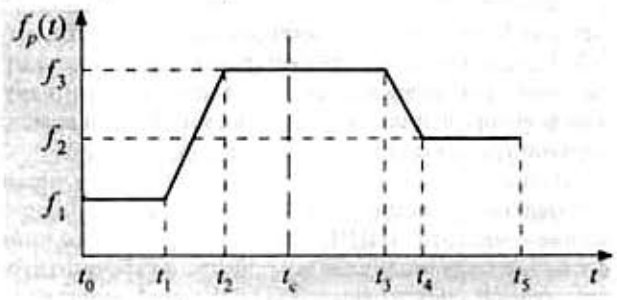


Рис. 1. Модель циклограммы испытаний

Значения параметров, необходимых для формирования циклограммы, определяются значениями:

— частот f_1, f_2, f_3 (с точностью до 1 Гц) вращения ротора на установившихся режимах;

— моментов времени t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 изменения режима работы оборудования и момента t_5 его останова;

— момента t_c — скачкообразного изменения амплитуды или коэффициента передачи K_0 модели динамического звена (имитация дефекта или аварийного исхода испытания) с одновременной световой и звуковой сигнализацией.

Структурная схема имитатора (**рис. 2**) содержит канал формирования регулярной компоненты (КФРК) $r(t)$, канал формирования шумоподобной компоненты (КФШК) $\eta(t)$, канал формирования БМП (КФБМП), устройство управления и индикации (УУИ).

КФРК предназначен для имитационного формирования циклограммы испытаний и управления ее характеристиками, моделирования регулярной составляющей БМП $r(t)$ и сигнала датчика оборотов $n(t)$. КФШК предназначен для имитационного моделирования шумоподобной составляющей БМП $\eta(t)$ и уп-

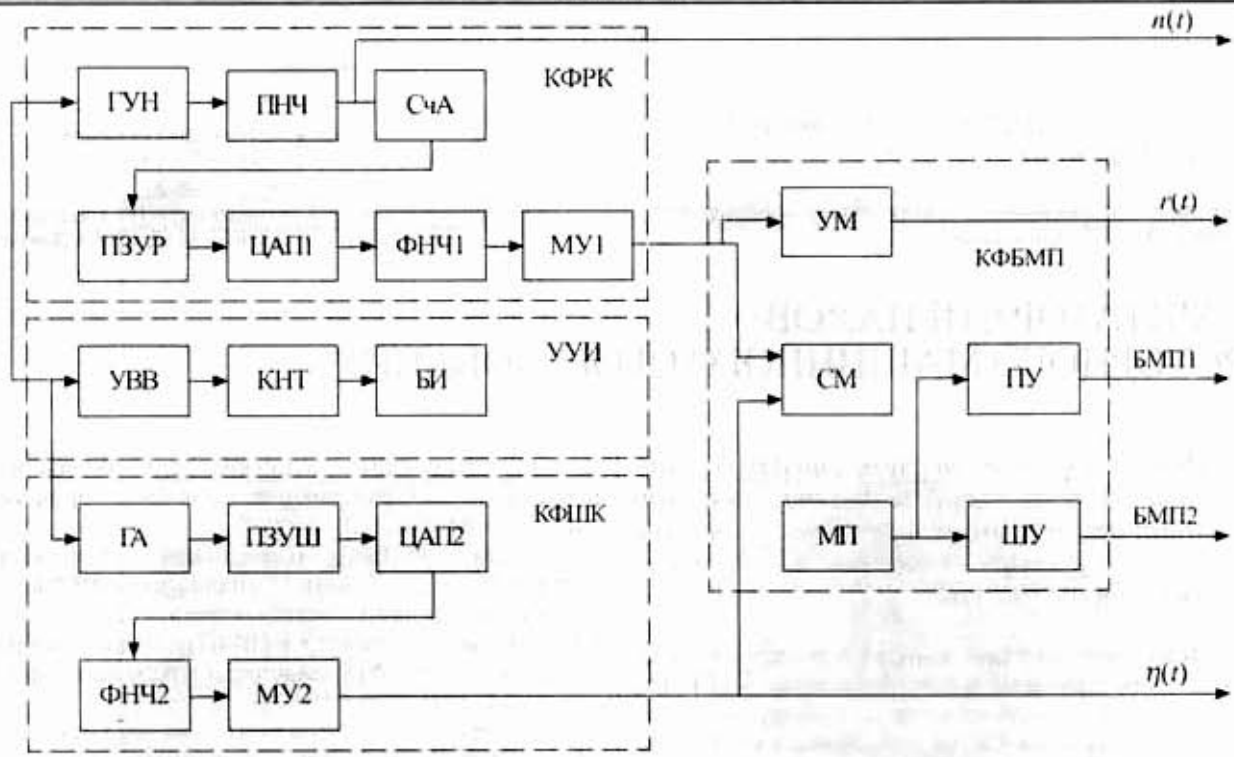


Рис. 2. Структурная схема имитатора

равления их характеристиками. КФБМП предназначен для формирования имитируемых БМП 1, 2 и $n(t)$. УУИ предназначено для синхронизации работы отдельных функциональных узлов имитатора и каналов формирования БМП, а также индикации команд клавиатуры и модели циклограммы испытания.

В свою очередь КФРК содержит генератор управляющего напряжения (ГУН), преобразователь "напряжение—частота" (ПНЧ), счетчик адреса (СчА), постоянное запоминающее устройство коэффициентов регулярной составляющей (ПЗУР), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП1), фильтр нижних частот (ФНЧ1). Их функции:

— ГУН — формирование напряжения, управляющего формированием циклограммы испытаний в соответствии с рис. 1 от УУИ;

— ПНЧ — преобразование управляющего напряжения в частоту и формирование сигнала датчика оборотов $n(t)$;

— СчА — формирование 8-разрядных адресов, в которых находятся значения коэффициентов регулярной составляющей;

— ПЗУР — хранение 256 значений коэффициентов 64 гармоник регулярной составляющей;

— ЦАП1 — преобразование коэффициентов регулярной составляющей в напряжение;

— ФНЧ1 — сглаживание напряжения с выхода ЦАП1;

— МУ1 — масштабирование регулярной составляющей по командам УУИ.

По команде, вырабатываемой УУИ, осуществляется запуск ГУН, который формирует напряжение, соответствующее заданной циклограмме испытаний. Это напряжение воздействует на ПНЧ, на выходе которого формируются выходной сигнал датчика оборотов $n(t)$ и сигнал, управляющий работой СчА. На выходе СчА формируются коды адреса ПЗУР, по которым находятся коэффициенты выбранной УУИ гармоники регулярной составляющей. Выбранные коды преобразуются ЦАП1, на выходе которого формируется аналоговый сигнал, моделирующий регулярную компоненту $r(t)$, который сглаживается ФНЧ1 и поступает на устройство масштабирования МУ1. Требуемое значение масштабирующего множителя устанавливается по команде УУИ.

КФШК содержит генератор адреса (ГА), постоянное запоминающее устройство коэффициентов шумоподобной составляющей (ПЗУШ), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП2), фильтр нижних частот (ФНЧ2) и масштабирующее устройство (МУ2). Их функции:

— ГА — формирование 16-разрядного адреса, по которому находятся выборочные значения шумоподобной составляющей;

— ПЗУШ — хранение 64 К выборочных шумоподобной составляющей;

— ЦАП2 — преобразование значений шумоподобной составляющей в напряжение;

— ФНЧ2 — сглаживание напряжения с выхода МУ2;

— МУ2 — масштабирование шумоподобной составляющей по командам УУИ.

Генератор ГА формирует 16-разрядный код адреса ПЗУШ, по которому находятся выборочные значения шумоподобной составляющей. Считанные значения преобразуются ЦАП2 в аналоговый сигнал, моделирующий шумоподобную компоненту $\eta(t)$, который сглаживается ФНЧ2 и поступает на МУ2. Тре-

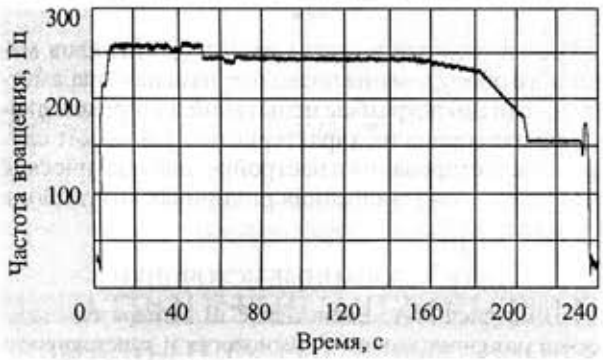


Рис. 3. Циклограмма частоты вращения ротора, полученная в ходе натурных испытаний двигателя

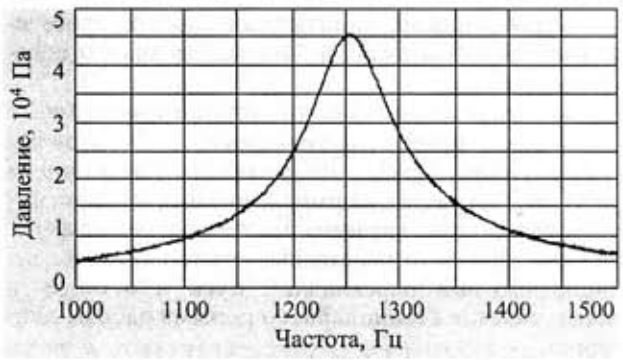


Рис. 4. АЧХ динамического звена имитатора с центральной частотой 1250 Гц и добротностью 20

буемое значение масштабирующего множителя устанавливается по команде УУИ.

КФБМП содержит усилитель мощности (УМ), сумматор (СМ), полосовой усилитель (ПУ), широкополосный усилитель (ШУ) и мультиплексор (МП). Их функции:

— УМ — согласование регулярной компоненты с нагрузкой;

— ПУ и ШУ — моделирование динамического звена ЖРД;

— МП — выбор ПУ или ШУ с клавиатуры по команде оператора до начала эксперимента.

Сигнал $r(t)$ с выхода КФРК поступает через УМ, а $n(t)$ — непосредственно на выход имитатора. Сигналы $r(t)$ с выхода КФРК и $\eta(t)$ с выхода КФШК поступают на вход сумматора и, далее, на входы ПУ и ШУ. Выбор параметров ПУ и усилителя осуществляется от УУИ.

УУИ содержит устройство ввода (УВВ), контроллер (КНТ) и блок индикации (БИ). Их функции:

— УВВ — ввод управляющих команд с клавиатуры;

— КНТ — управление начальными установками и синхронизация всех узлов имитатора;

— БИ — индикация кодов управляющих команд и основных рабочих параметров.

Набираемые с клавиатуры УВВ код управляющих команд и основные рабочие параметры высвечиваются на сегментных светодиодных индикаторах БИ, отображающих протекающие в имитаторе процессы. Управляющие коды, кроме того, поступают на вход контроллера, гле вырабатываются сигналы, с помощью которых задаются начальные установки, режим работы и порядок взаимодействия отдельных функциональных узлов имитатора.

Основные технические характеристики имитатора сигналов

Число выходных каналов:

— сигналов — 1;

— синхронизации (датчик оборотов ротора) — 1.

Параметры сигналов:

— диапазон частот — 20—20000 Гц;

— выходное напряжение — до ±10 В;

— выходное сопротивление — 100 Ом.

Параметры сигнала датчика оборотов ротора:

— частота — $16f_p$;

— напряжение — ±10 В;

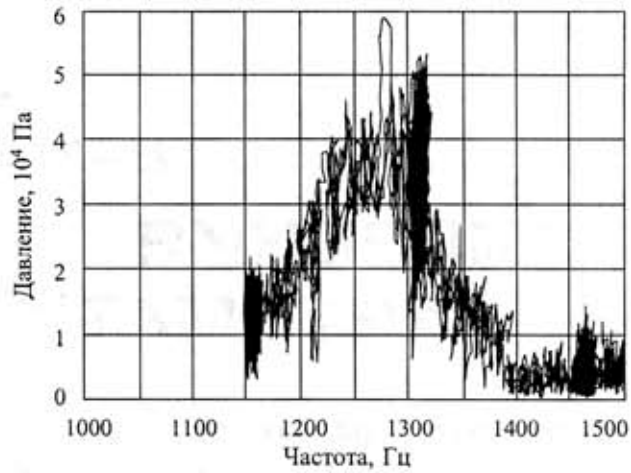


Рис. 5. АЧХ реального объекта, полученная с помощью ИПР

— диапазон частот сигнала синхронизации — 300—6400 Гц;

— скорость перестройки по частоте — 270 Гц/с.

Параметры выходного сигнала:

— гармоники роторной частоты — 1, 3, 4, 7, 8, 14, 29;

— коэффициент передачи гармоники роторной частоты — 0—255;

— коэффициент передачи шумоподобной составляющей — 0—255;

— добротность динамического звена — 0—30;

— резонансная частота динамического звена — 150—10000 Гц.

Параметры внешних входов:

— напряжение на входах — ±10 В;

— входные сопротивления — 1Мом;

— диапазон частот на входе управления частотой — 0—300 Гц;

— диапазон частот на входе внешнего источника шума — 20—20000 Гц.

Имитатор сигналов машинного оборудования предназначен для работы как в составе СКДА, так и автономно, и может использоваться:

— для моделирования измеряемых сигналов на переходных и установившихся режимах работы машин;

— для моделирования сигналов от датчика оборотов ротора;

— для моделирования динамического звена резонансного типа;

— для автономного использования при проведении научно-исследовательских, доводочных и поверочных работ.

Рассмотрим пример использования имитатора.

На **рис. 3** приведена циклограмма оборотов ротора реальных испытаний двигателя. Как видно из рис.1, циклограмма, формируемая имитатором, повторяет основные характерные участки тестовых испытаний двигателя, переходные участки, соответствующие режимам "перекладка", "пуск" и "останов", а также участок стационарного режима работы двигателя.

На **рис. 4** и **5** представлены АЧХ динамического звена имитатора и АЧХ реального объекта, полученная с помощью ИПР, свидетельствующая о наличии в объекте скрытого резонатора с АЧХ, аналогичной динамическому звену имитатора.

***

Рассмотренный в статье имитатор сигналов машинного оборудования позволяет изменять параметры модели циклограммы испытаний в широком диапазоне изменения их характеристик. Он может служить для тестирования и настройки диагностической аппаратуры, моделирования различных ситуаций, в т. ч. и аварийных.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дмитриев Э. А., Емельянов С. В. Измеритель параметров роторных машин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2000.— № 5—6.— С. 48—49.

2. Дмитриев Э. А. Диагностические модели виброакустических сигналов // Тр. Одес. политехн. ун-та.— 1996.— Вып 2.— С. 44—46.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ

23—26 апреля 2002 г. Санкт-Петербург

Выставочный центр Северо-Запада

www.alsima.spb.ru/automation

ИЗМЕРЕНИЯ
АВТОМАТИЗАЦИЯ
АНАЛИТИКА

Третья международная выставка контрольно-измерительных и аналитических приборов, систем и технологий, средств и систем автоматизации для предприятий всех отраслей экономики, всех регионов России и стран ближнего зарубежья.

Оргкомитет выставки: Санкт-Петербург, пл. Победы, 2.
Тел./факс: (812) 373-8210, 373-2778, 371-8696.
E-mail: automation@alsima.spb.ru

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ

УНКФП-1

1-я УКРАИНСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

(с международным участием)

Украина, Одесса, 10—14 сентября 2002 г.

Научные направления конференции

1. Теория зонной структуры, оптические, экситонные и фононные явления.
2. Фото-, акусто-, оптоэлектронные и электронные явления в объеме и на поверхности полупроводников.
3. Квантовые, оптические, электрические и магнитные свойства.
4. Физика современных полупроводниковых приборов и сенсоров.
5. Полупроводниковые материалы и технологии.

Адрес Оргкомитета

Украина, 65026, г. Одесса, ул. Дворянская, 2. Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова. НИЛ-3.

Ученый секретарь конференции
Лепих Ярослав Ильич.
Тел./факс: 380(482)-23-34-61
E-mail: oguint@paco.net
ndl_lepikh@gomail.com.ua

Д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ, М. Р. РАГИМОВ

Азербайджан, г. Баку,
Азербайджанское нац. аэрокосмическое агентство
E-mail: rauffmahmud@azintex.com

Дата поступления в редакцию
17.04.2001 г.

Оппонент
к. ф.-м. н. Х. А. АСАДОВ (ОКБ КП, г. Баку)

НЕГАТРОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Подтверждена перспективность рассмотренных пленок для изготовления методами микроэлектроники полупроводниковых устройств с расширенными функциональными возможностями.

Функциональные элементы на основе структур, обладающих отрицательным сопротивлением, являются результатом развития нового направления функциональной электроники, называющегося негатроникой. В настоящее время оно дало самые мощные и самые высокочастотные полупроводниковые приборы – лавиннопролетные диоды, самые быстродействующие ключи на лавинных транзисторах, самые мощные ключи на тиристорах и динисторах [1].

Одной из нерешенных проблем в микроэлектронике является производство твердотельных индуктивных элементов, т. к. до сих пор не предложен метод локализации магнитного поля в полупроводнике. Поэтому приходится разрабатывать косвенные методы создания индуктивностей, точнее, их аналогов. Для этого достаточно, чтобы аналог индуктивности обладал инерционностью к изменению тока и обеспечивал сдвиг фаз между током и напряжением на угол $\varphi=\pi/2$.

Известны полупроводниковые приборы и пленки, в которых внутренняя обратная связь вызывает индуктивное сопротивление: двухбазовый диод [2], индуктивный транзистор [3, с. 31], структуры $p-n-p-n$-типа [4], пленки аморфных полупроводников [5] и др.

В отличие от индуктивного транзистора, в котором для получения индуктивности, помимо активного элемента, требуются пассивные, осуществляющие обратную связь, в пленочных приборах есть внутренние обратные связи. ВАХ таких приборов имеют участок отрицательного сопротивления. Интерес к этим пленкам объясняется наличием, наряду с индуктивной составляющей, еще и активного сопротивления, позволяющего существенно повысить добротность. Кроме того, индуктивное сопротивление существенно зависит от режима по постоянному току, т. е. им можно управлять, например, воздействием света.

Отрицательная емкость в аморфных полупроводниках наблюдается вблизи порогового напряжения и в области отрицательного сопротивления. Исследованию отрицательного сопротивления и $C-V$-характеристик стеклообразных полупроводников посвящено большое количество работ. Однако известно, что их отличает нестабильность и деградация характеристик.

Менее известны и гораздо более интересны аналогичные явления в пленках поликристаллического кремния (ПК), поскольку кремний является основным материалом микроэлектроники для производства ИС, и приборы, изготовленные на его основе, обладают гораздо более высокой надежностью.

В настоящей работе изложены результаты исследований вольт-фарадных характеристик пленок ПК в высокоомном (ВС) и низкоомном (НС) состояниях и под влиянием света.

Образцы пленок ПК изготавливались в процессе эпитаксиального наращивания монокристаллического кремния n-типа проводимости на локально окисленных кремниевых подложках p-типа проводимости КДБ-10 по технологии, описанной в [6].

Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) исследовались на измерителе полных проводимостей транзисторов Л2-7 с генератором ГКЗ-40 при комнатной температуре в диапазоне частот 0,465 — 10 МГц. ВФХ неформованных пленок ПК, измеренные при комнатной температуре, были симметричны относительно полярности напряжения смещения, а при напряжениях, близких к пороговым значениям моностабильного переключения, емкость резко уменьшалась и принимала отрицательные значения (**рис. 1**, *а*). С увеличением частоты измерительного сигнала напряжение инверсии знака емкости возрастало.

Полученный результат объясняется существующими представлениями о пленке ПК как о последовательной цепочке потенциальных барьеров в виде ОПЗ (область пространственного заряда) на границах зерен, число которых зависит от количества зерен на длине пленки [7]. При любой полярности напряжения смещения барьеры, расположенные по одну сторону зерна, понижаются, а по другую — повышаются. Если напряжение смещения меньше напряжения пробоя, то емкость такой структуры определяется суммой емкостей ОПЗ, которая с увеличением напряжения смещения уменьшается вследствие расширения ОПЗ и слабо зависит от частоты. Дальнейшее увеличение напряжения смещения вызывает последовательный пробой барьеров, приводящий к увеличению емкости за счет как сокращения числа барьеров, так и влияния емкости подвижных носителей. Когда значение напряжения смещения приближается к порого-

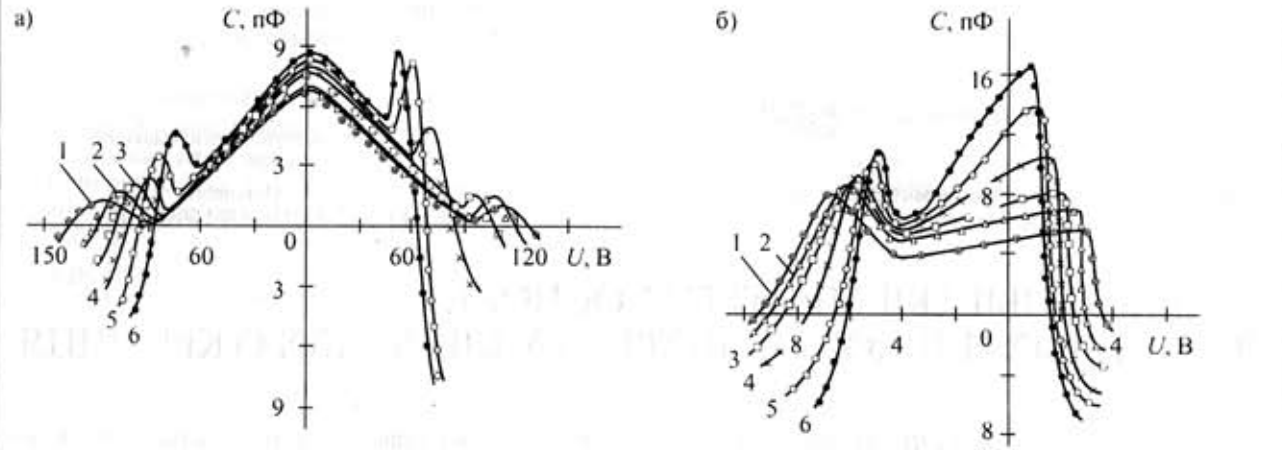


Рис. 1. Вольт-фарадные характеристики неформованных (*а*) и формованных (*б*) пленок ПК на различных частотах: *1* – *6* — соответственно 0,465, 1, 3, 5, 7, 10 МГц

вому напряжению, происходит резкое уменьшение емкости, и емкость, вследствие наличия на ВАХ участка отрицательного сопротивления S-образного типа, становится отрицательной.

Наличие в пленках ПК барьерных слоев и глубоких ловушек позволяет предположить, что наблюдаемый в них переход емкости к отрицательным значениям связан с процессами перезарядки глубоких ловушек. Действительно, в отсутствие инжекции носителей незаполненные ловушки не принимают участия в проводимости и благодаря своей электронейтральности не оказывают влияния на *C—V*-характеристику. Пробой барьерных слоев приводит к появлению в ОПЗ подвижных носителей, которые начинают захватываться ловушками. Время заполнения глубоких ловушек при наличии инжекции определяется как

$$\tau = q v_{др} / j \, \gamma_n, \qquad (1)$$

где q — заряд электрона;
$v_{др}$ — дрейфовая скорость носителей;
j — плотность тока;
γ_n — коэффициент захвата электронов на глубокую ловушку.

При малых напряжениях смещения плотность тока мала, и выполняется условие $1/\tau < \omega$ ($\omega = 2\pi f$ — круговая частота, f — частота измерительного сигнала). При этом емкость положительна. Увеличение напряжения смещения повышает плотность тока, вследствие чего, как видно из (1), $1/\tau$ возрастает и при определенном значении напряжения достигает величины ω. В данной точке реактивная составляющая проводимости обращается в нуль. Дальнейшее увеличение напряжения смещения приводит к переходу емкости к отрицательным значениям, причем величина $1/\tau$, обратная времени заполнения глубоких ловушек, становится больше частоты измерительного сигнала ω. Значит, за период изменения сигнала ловушки успевают заполниться, вызывая тем самым отставание тока от напряжения по фазе, что и является эквивалентом индуктивности. Переход к отрицательной емкости на более высоких частотах требует увеличения плотности тока. Поэтому точка инверсии знака емкости сдвигается в сторону больших напряжений (рис. 1, *а*).

Как отмечалось в [8], в результате электроформовки барьеры на одной стороне зерна подвергаются тепловому пробою, вследствие чего *C—V*-характеристика пленки, так же, как и ее ВАХ, в области ВС становится полярно зависимой (рис. 1, *б*). В случае приложения прямого напряжения смещения оставшиеся на другой стороне зерна барьеры понижаются, и уже при малых напряжениях начинается инжекция носителей, обуславливающая возрастание емкости. Одновременно начинается захват носителей глубокими ловушками, который препятствует нарастанию тока, и возрастает вероятность захвата, что приводит к увеличению $1/\tau$. Если выполняется условие $1/\tau = \omega$, то емкость проходит через нуль и принимает отрицательные значения .

При обратном напряжении смещения *C—V*-характеристика в области ВС аналогична характеристикам, наблюдавшимся в неформованных пленках ПК, но с меньшими напряжениями инверсии знака емкости, поскольку сопротивление пленки в результате электроформовки понижается.

Исследованием *C—V*-характеристик в НС обнаружено, что во всем рассмотренном диапазоне напряжений и частот емкость обладает отрицательными значениями. С увеличением напряжения смещения ее номиналы уменьшаются по модулю симметрично относительно полярности напряжения смещения (**рис. 2**, *а*).

Частотная зависимость емкости в области НС показывает, что в случае малого напряжения смещения емкость уменьшается линейно по модулю с ростом частоты, а при увеличении смещения она сначала возрастает по модулю, достигая максимума, а затем линейно уменьшается с ростом частоты, оставаясь отрицательной (рис. 2, *б*).

Поскольку в НС барьерные слои в пленке ПК отсутствуют, плотность тока даже при малых напряжениях высока. В этих условиях частота захвата в исследованном частотном диапазоне намного больше частоты измерительного сигнала ($1/\tau >> \omega$), чем и обусловлен чисто индуктивный характер реактивной составляющей проводимости.

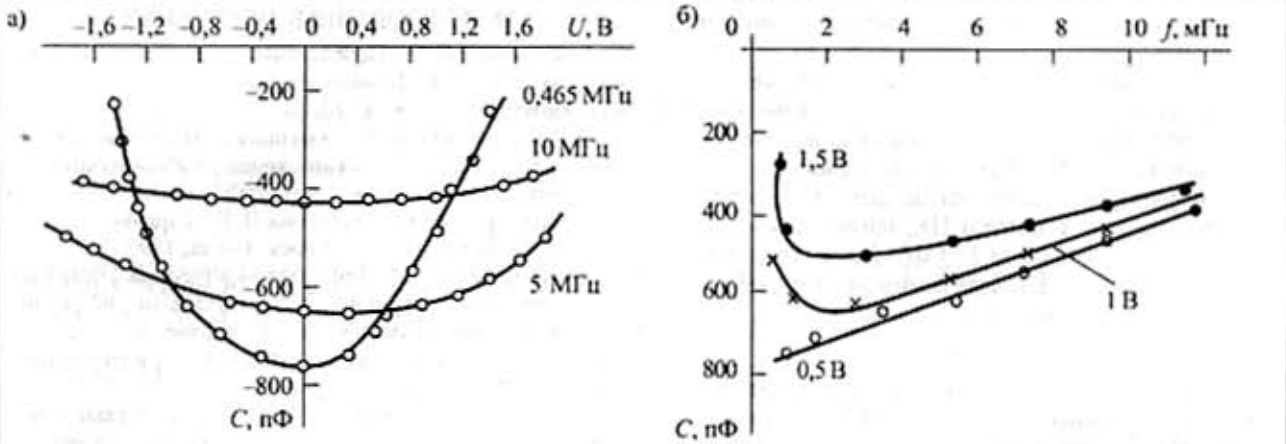


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики пленок ПК в НС при различных частотах (*а*) и частотные зависимости емкости при различных напряжениях смещения (*б*)

Расчетные значения индуктивности и добротности пленок ПК

f=0,465 МГц					f=10 МГц			
U, В	$\overline{C}$, пФ	g, мсим	L, мкГн	Q	$\overline{C}$, пФ	g, мсим	L, мкГн	Q
в высокоомном состоянии								
7	4	2,02	0,98	0,6	+1,0	2,0	—	—
8	5	2,02	1,22	0,7	+0,9	2,62	—	—
9	7	2,54	1,08	0,8	1,5	3,1	0,15	3,0
10	13	2,95	1,49	1,3	1,8	3,62	0,16	3,6
11	18	3,67	3,53	1,4	3,8	4,1	0,23	6,6
12	42	4,42	2,15	2,7	5,7	4,53	0,28	7,9
13	79	4,95	3,2	7,1	7,8	5,02	0,31	9,8
14	89	5,04	3,5	5,0	9,9	5,63	0,32	11,0
в низкоомном состоянии								
0	789	54,2	0,27	4,2	412	31,6	0,26	82
0,2	778	54,13	0,26	4,1	410	31,6	0,26	81
0,4	765	53,76	0,26	4,1	409	31,6	0,25	81
0,6	717	53,05	0,25	3,9	397	31,57	0,25	80
0,8	653	52,12	0,24	3,6	397	31,54	0,24	79
1,0	560	50,65	0,22	3,2	389	31,5	0,24	77
1,2	497	49,21	0,20	2,9	378	31,44	0,24	75
1,4	397	47,61	0,17	2,4	366	31,32	0,24	73
1,6	277	45,70	0,13	1,7	353	31,17	0,24	71

Отрицательная емкость ($\overline{C}$) и индуктивность связаны между собой соотношением

$$L=R^2\overline{C}/(1+Q_1^2), \qquad (2)$$

где Q_1 — добротность индуктивности, равная $\omega R\overline{C}$.

Как видно из (2), при $Q_1>>1$ индуктивность $L=1/\omega^2\overline{C}$, а при $Q_1<<1$ $L=R_2\overline{C}$. При значениях Q_1, близких к единице, точные значения L, соответствующие измеренным значениям отрицательной емкости, можно определить из (2). Результаты вычислений значений индуктивности и добротности для ПК-резисторов размерами 200×20 мкм в ВС и НС на частотах 0,465 и 10 МГц приведены в **таблице** (здесь g — проводимость). Анализ данных показывает, что на низких частотах номиналы индуктивности пленок ПК в ВС почти на порядок больше, чем в НС. С ростом частоты индуктивность в ВС уменьшается, а добротность увеличивается примерно вдвое. В низкоомном состоянии индуктивность слабо зависит от частоты, однако добротность с ее увеличением возрастает более чем на порядок.

Под влиянием света участок отрицательного сопротивления (ОС) на ВАХ пленок ПК, измеряемых в фоторезисторном режиме, **(рис. 3)** исчезает, и для его восстановления требуется увеличение прилагаемого напряжения. Это влияние также обусловлено наличием глубоких ловушек на границах зерен, захватывающих электроны, что повышает высоту потенциальных барьеров. При этом сопротивление пленки возрастает и нарушается условие, необходимое для существования ОС. Повышение напряжения срыва составляет примерно 1 В (по сравнению с темновым значением). Влияние света на участок ОС ВАХ пленок ПК позволяет получать управляемые светом электрические колебания, генерация которых в диапазоне частот 1,3—1,8 МГц возникает под влиянием освещения $(2,5—4)\cdot10^4$ лк, причем большей освещен-



Рис. 3. Влияние света на ВАХ пленки ПК с отрицательным сопротивлением:
а — темновая; *б* — световая

ности соответствует и большая частота возникающих колебаний.

Отформованные пленки ПК исследовались также в импульсном режиме. Импульсы света подавались светодиодом АЛ 106 с длиной волны излучения 0,9 и мощностью 2 мВт. Питание светодиода осуществлялось прямоугольными импульсами. Амплитуда выходного сигнала с пленки ПК, наблюдаемая на осциллографе, составляла 150 мВ. До частоты 10 кГц форма выходных сигналов не искажалась, что соответствует быстродействию 10 мкс.

***

Таким образом, локальные пленки поликристаллического кремния, обладающие ВАХ с отрицательным сопротивлением, представляют собой негатронные элементы с нелинейной вольт-фарадной характеристикой. Малая площадь, низкие пороговые напряжения и эпитаксильно-планарная технология изготовления позволяют использовать эти пленки в микроэлектронике в качестве запоминающих устройств, фотоприемного элемента оптоэлектронной пары, полупроводниковых аналогов индуктивностей, генератора колебаний, управляемого светом. Перспективность рассмотренных пленок очевидна, поскольку на их основе методами микроэлектроники можно реализовать такие полупроводниковые устройства, расширение функциональных возможностей которых не требует увеличения количества их компонентов, усложнения конструкции и технологии изготовления.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Филинюк Н. А. Перспективы развития негатроники // Мат-лы НТК "Приборостроение — 93". — Винница— Николаев, 1993.— С. 63.

2. Прозоровский В. Е., Семенцов В. И. Анализ индуктивных свойств двухбазового диода // Радиотехника и электроника.— 1970.— № 3.— С. 639 — 641.

3. Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Гаряинов С. А. и др. Негатроника.— Новосибирск: Наука, 1995.

4. Степанова Л. Н. Принципы построения управляемых устройств с отрицательным и нулевым дифференциальным сопротивлением на основе *p—n—p—n*-структур // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника.— 1990.— Вып. 3.— С. 60—65.

5. Дешевой А. С., Гасанов Л. С. О твердотельной индуктивности в аморфных и компенсированных полупроводниках // ФТП.—1977.— Т. 11, вып. 10.— С. 1995—1999.

6. Abdullajev A. G., Kasimov F. D. The simultaneous growth mono- and polycrystalline silicon films with controlled parameters // Thin Solid Films.— 1984.— Vol. 115, N 3.— P. 237—243.

7. Mondurah M. M., Saraswat K. C., Kamins T. I. A model for conduction in polycrystalline silicon // IEEE Trans. Electron. Devices.— 1981.— Vol. ED-28, N 10.— P. 1171—1176.

8. Абдуллаев А. Г., Ветхов В. А., Касимов Ф. Д. Нелинейный функциональный элемент на пленке поликристаллического кремния // В сб.: Диэлектрики и полупроводники.— Киев: Вища школа.— 1984.— Вып. 26.— С. 60—63.



Тел.: +7 (812) 360-6007 Факс.: +7 (812) 360-6001
E-mail: strax@primexpo.spb.ru

5-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2—4 апреля 2002 г. Россия, Москва, ЦВЗ "Манеж" Манежная пл., д. 1.

www.primexpo.spb.ru/expoelectronica

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Методика разработки и характеристики автогенератора класса **Е**. *В. Г. Крыжановский, А. Н. Рудякова, Д. В. Чернов (Украина, г. Донецк)*



- Высокочувствительные датчики Холла на основе эпитаксиальных структур GaAs, полученных низкотемпературной ЖФЭ из расплавов висмута. *Н. М. Вакив, С. И. Круковский, И. Р. Завербный, И. А. Мрыхин (Украина, г. Львов)*
- Ультрадисперсные фазы в молекулярной электронике. *В. В. Ковальчук (Украина, г. Одесса)*

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

К. т. н. А. В. СТЕРХОВА, д. т. н. В. Е. ЛЯЛИН

Россия, Ижевский гос. технический университет
E-mail: root@istu.udm.ru

Дата поступления в редакцию
29.05 — 01.11 2001 г.
Оппонент *к. т. н. А. В. АБИЛОВ*
(ИжГТУ, г. Ижевск)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Предложен комплекс математического и программного обеспечения для исследования эффективной электропроводности толстопленочных резисторов в рамках теории перколяции.

Альтернативой либо существенным дополнением к классическому пути разработанного в деталях технологического процесса изготовления какого-либо изделия является установление определенных закономерностей физико-химических процессов, которые лежат в его основе. Для этого необходимо создавать информационное обеспечение, содержащее причинные, структурные и количественные предпосылки для последующей многокритериальной оптимизации технологических процессов. При этом связь между начальным комплексом технологических условий и критериями качества готовой продукции можно устанавливать чисто априорно (гипотетически), что, однако, не может служить руководством к действию, либо экспериментально — отслеживая поэтапно кинетику изменения физико-химического состояния объекта по мере изменения воздействующих факторов (температура, время и др.).

Более конструктивный подход может дать математическое моделирование структуры на основе экспериментально-статистического подхода при минимальной степени ограничений либо приближений, поскольку все реализуемые в технологических условиях процессы заложены в микроструктуре готовых изделий.

Объектом в данной работе служили Ag—Pd толстопленочные резисторы (ТПР) гибридных интегральных микросхем, обладающие высокой стабильностью и воспроизводимостью электрофизических параметров. В предыдущих работах [1, 2] подробно описана методическая часть комплекса для построения моделей и определения размерно-геометрических параметров структуры. Задачей данной статьи явилось полное представление методического комплекса с более подробным описанием блоков нахождения основных перколяционных величин и блока построения структурной модели металлических кластеров на пороге протекания и в области размазки.

Разработан комплекс на основе оборудования, необходимого для преобразования исходного объекта (ТПР) в продукт информационого обеспечения — модель статической микроструктуры, и алгоритмического и программного обеспечения последующего математического моделирования в рамках теории перколяции, математических методов статистической обработки экспериментальных данных и теории графов.

На **рис. 1** дано схематичное изображение разработанного комплекса, включающего:

— блок предварительной обработки исследуемого объекта;

— блок построения структурной модели металлических кластеров и статистической обработки ее параметров;

— блок построения кластерной модели электрических связей и алгоритмическое и программное обеспечение для исследования критического поведения электропроводности;

— блоки обеспечения связи разработанного комплекса с производством ТПР — блок информации для технологического процесса, информационный блок критического поведения системы и блок информационного обеспечения в рамках теории перколяции, создающие базу данных по эталонным образцам.

Блок предварительной обработки исследуемого объекта предназначен для получения микрофотографии структуры образца и поэлементного анализа состава ТПР (с использованием Оже-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа) с последующей компьютерной обработкой для создания структурной модели металлических кластеров по методике, описанной в работе [1]. Сравнительный анализ структурных моделей металлических кластеров на качественном и количественном уровнях представлен в работе [2].

В следующем блоке на основе математических методов статистической обработки массивов экспериментальных данных были определены основные размерно-геометрические параметры структурной модели металлических кластеров (межгранулярное растояние L, диаметр зерен d, длина l и площадь S металлических гранул, радиус корреляции ξ и локальная степень вершины n) и была (впервые) установлена многомодальность интегральной функции распределения $F(x)$ этих параметров для широкого диапазона значений удельного сопротивления ТПР[1, 2].

Программный блок построения кластерной модели электрических связей включал:

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

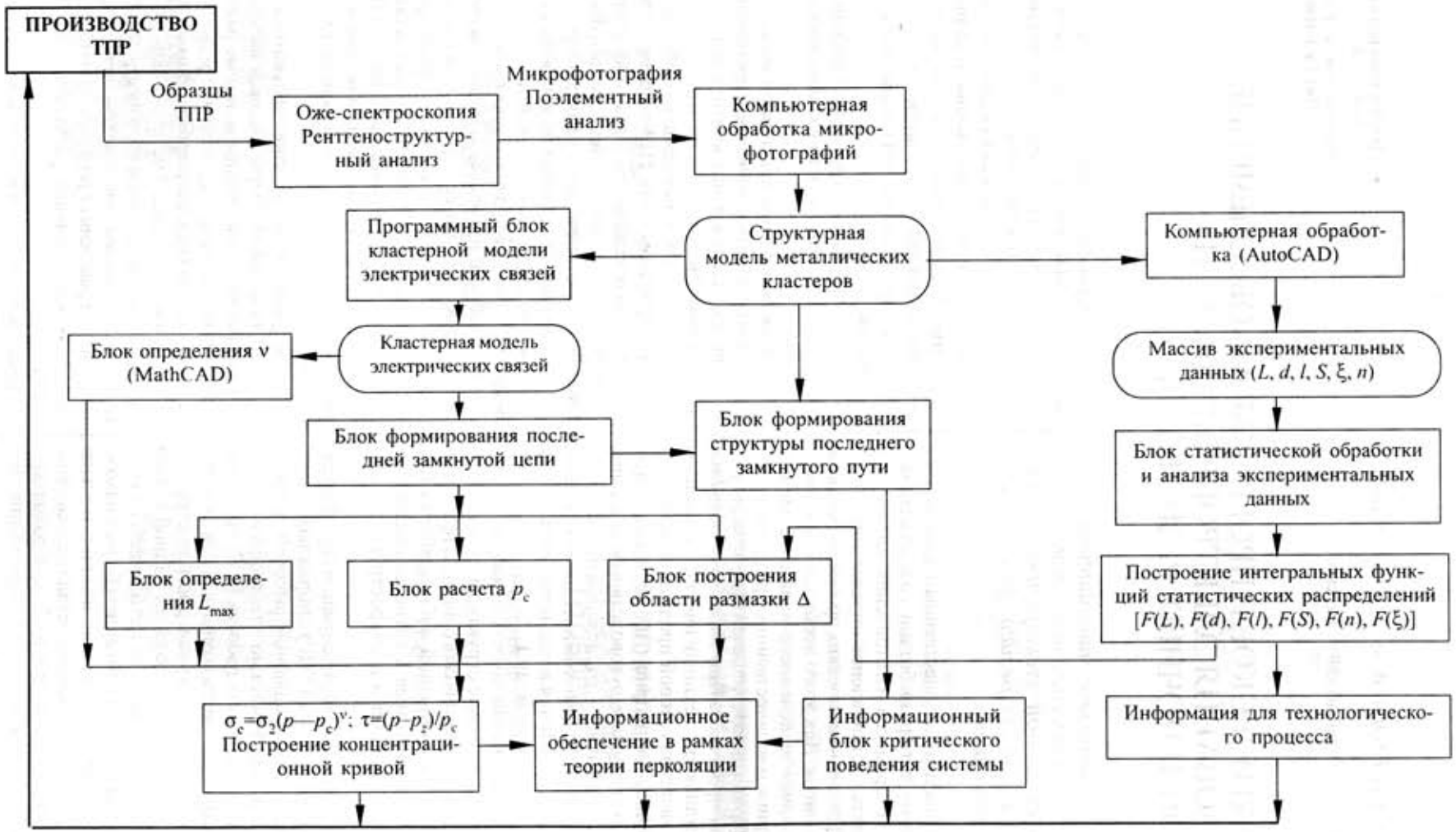


Рис. 1

— алгоритмическое и программное обеспечение для формирования последней замкнутой цепи протекания тока на основе кластерной модели электрических связей;

— блок формирования структуры последнего замкнутого пути;

— алгоритм определения критического индекса q степенной зависимости эффективной электропроводности;

— алгоритм определения порога протекания L_{max}, объемной доли проводящей фазы p_c на пороге протекания и области размазки Δ;

— алгоритм и программное обеспечение для построения концентрационной зависимости эффективной электропроводности $\sigma_e=f(p)$ для двухмерных и трехмерных сред в рамках теории перколяции.

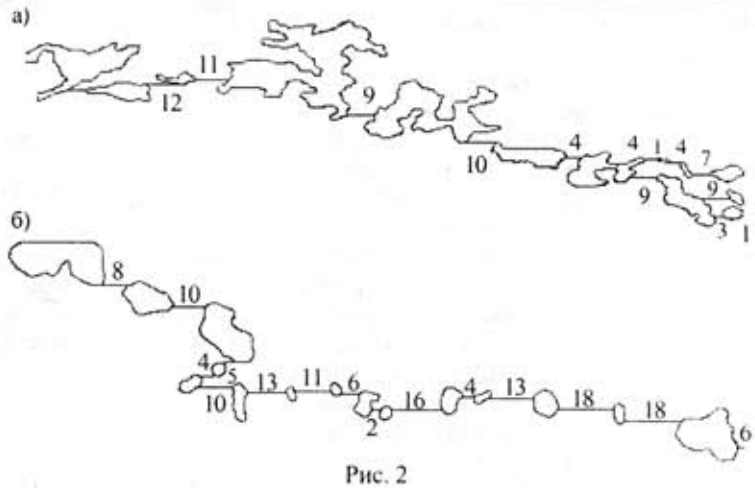


Рис. 2

Задача определения концентрационной зависимости в целом распадается на две [3]: во-первых, необходимо определить величину порога протекания, точнее, объемную долю проводящих частиц на пороге протекания (p_c); во-вторых, найти численное значение критического индекса эффективной электропроводности системы, находящейся ниже порога протекания (q).

На основе программного блока построения кластерной модели электрических связей при исследовании толстых резистивных серебропалладиевых пленок в диапазоне удельных сопротивлений (ρ) 0,1—50,0 кОм/□ получена оценка основных перколяционных величин, к которым относятся критические индексы (q и ν), объемная доля проводящей фазы (p_c) и максимальная длина межгранулярных расстояний (L_{max}) на пороге протекания. Их численные значения сведены в **таблицу** (ν — показатель степени нелинейной зависимости сопротивления от длины диэлектрических прослоек при шунтировании другими связями, определенный экспериментально).

Как следует из таблицы, разброс величины p_c очень мал и составляет не более 8%, поскольку все исследуемые образцы изготавливались из резистивной пасты с использованием одного и того же мелкодисперсного порошка проводящей фазы с размером частиц 0,1—0,5 мкм. По численному значению величина p_c хорошо согласовывалась с данными [4].

$\rho_{\square}$, кОм/□	0,1	0,5	3	20
p_c	0,084	0,091	0,098	0,096
ν	0,3	0,5	0,51	0,62
q	3,33	2,00	1,96	1,61
L_{max}, мкм	0,44	0,66	1,11	1,11

Экспериментальное определение численного значения критического индекса проводилось по алгоритму с учетом топологии микроструктуры образца. По уравнению $\sigma_e=\sigma_2(p-p_c)^{\nu}$ (здесь σ_2 и p — электропроводность и текущая концентрация проводящей фазы) строились расчетные кривые, и величина ν определялась путем аппроксимации расчетных кривых с разными значениями ν к экспериментальным точкам.

Для приведения формулы к стандартному виду $\sigma_e=\sigma_2(p-p_c)^q$ [5] необходимо показатель степени представить в виде $\nu=1/q$. При этом [6, с. 428] критический индекс q не имеет аналога в теории фазовых переходов и содержит важную дополнительную информацию о топологии бесконечного кластера.

Для наших систем под бесконечным кластером подразумевается, в отличие от бесконечного металлического кластера [7, 8], замкнутая цепь последней линии связи, состоящая из металлических гранул, разделенных диэлектрическими прослойками. Структура такой цепи на пороге протекания показана на **рис. 2**, *а* для низкоомных (0,1 кОм/□) и на рис. 2, *б* — для высокоомных (20,0 кОм/□) образцов. (Длина диэлектрических прослоек указана в условных единицах над каждой линией электрических связей.) На **рис. 3**, *а* и 3, *б* соответственно для этих же образцов даны структурные модели в области размазки, которая, по определению [6], содержит большее число металлических кластеров, чем на пороге протекания.

Как следует из анализа структур, представленных на рис. 2, *а* и 3, *а*, большинство металлических кластеров имеют перешейки в виде "тонких мостиков", на которых выделяется подавляющая часть джоулева тепла [9]. По их количеству можно определять уровень шумов и степень температурной стабильности. При увеличении удельного сопротивления образцов (рис. 2, *б* и рис. 3, *б*) величина гранул существенно уменьшается, их форма приближается к сферической, в гранулах исчезают "тонкие мостики", а длина диэлектрических прослоек увеличивается в среднем в два раза. Это хорошо согласуется с тем фактом, что активационный механизм электропроводности по локализованным состояниям в диэлектрической фазе становится преобладающим по сравнению с металлической составляющей. При этом для низкоомных резисторов как на пороге протекания, так и в области размазки наблюдается более широкий коридор протекания тока по сравнению с высокоомными.

В следующем блоке комплекса по соответствующему алгоритму определялось численное значение области размазки Δ как близость к порогу протекания $\tau=(p-p_c)/p_c$, т. е. как интервал, на котором сопротивление последней замкнутой цепи (максимальное на пороге протекания) уменьшалось до определенной величины за счет эффекта шунтирования другими связями. При этом для правильного описания концентрационной зависимости эффективной электропро-

водности в области размазки предложенный алгоритм учитывает любые комбинации включения элементов, как последовательное, так и параллельное, которые есть в реальной структуре.

Отличие представленной в работе [1] и используемой в предлагаемом комплексе методики построения структурных моделей на пороге протекания по сравнению с известными приемами состоит в том, что если традиционно порог протекания и критические индексы определяются методом Монте-Карло с использованием генератора случайных чисел для задания координат гранул [6, с. 407;10—12] (что исключает возможность отображения структурных особенностей исследуемых объектов в моделях электропроводности), то в данной работе носителем информации является статическая микроструктура исследуемого образца со своими топологическими и метрическими особенностями.

Применение указанного комплекса открывает новые возможности для изучения микроструктуры гетерогенных сред, установления корреляционных структурных, количественных и причинных связей между параметрами микроструктуры и ее удельным сопротивлением.

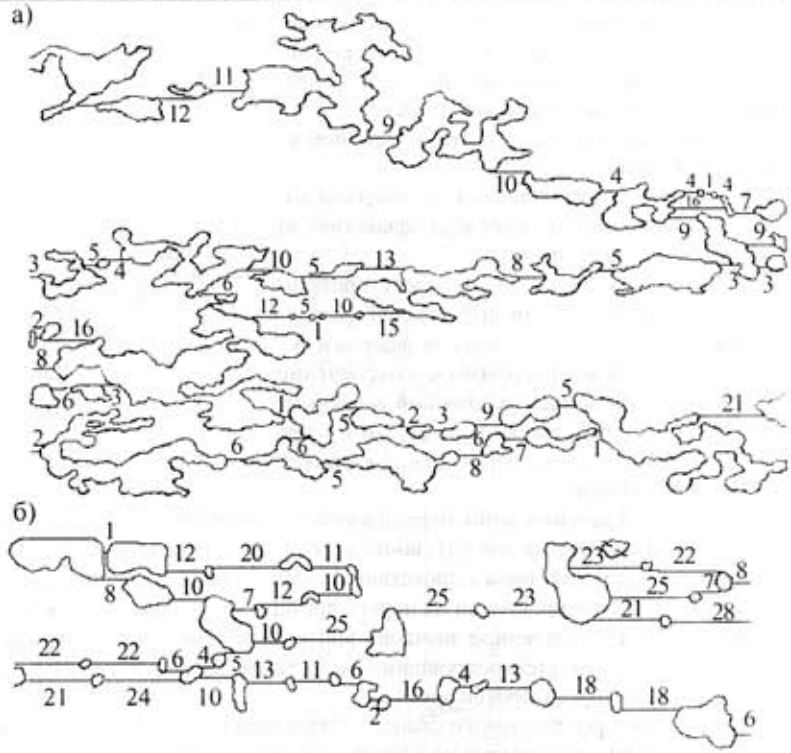


Рис. 3

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Стерхова А. В., Ушаков П. А., Жарков П. Н. Методика определения параметров структурной и кластерной моделей толстых резистивных пленок // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2001.— № 1.— С. 39—43.

2. Стерхова А. В., Ушаков П. А. Определение параметров кластерной и структурной моделей ТПР // Тр. междунар. науч.-техн. конф. "Информационные технологии в инновационных проектах".— Ижевск, 19—20 апреля 2000 г.— С. 225.

3. Скал А. С. Переход металл—диэлектрик в моделях теории протекания: электропроводность // ЖТФ.— 1981.— Т. 51, вып. 11.— С. 2443—2445.

4. Carcia P. F., Ferretti A., Suna A. Particle size effects in thick film resistor // J. Appl. Phys.— 1982.— Vol. 53, N 7.— P. 5282—5287.

5. Efros A. L., Shklovskii B. I. Critical behaviour of conductivity and dielectric constant near the metal-non-metal transition threshold // Phys. Stat. Sol., B.— 1976.— Vol. 76, N 2.— P. 475—485.

6. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // УФН.— 1975.— Т. 117, вып. 3.— С. 401—435.

7. Шкловский Б. И. Критическое поведение коэффициента Холла вблизи порога протекания // ЖЭТФ.— 1977.— Т. 72, вып. 1.— С. 288—295.

8. Скал А. С. Топология бесконечного кластера в теории протекания и теория прыжковой проводимости // ФТП.— 1974.— Т. 8, № 8.— С. 1586—1592.

9. Морозовский А. Е., Снарский А. А. Критическое поведение 1/f-шума в перколяционных системах // ЖЭТФ.— 1989.— Т. 95.— С. 1844—1849.

10. Скал А. С., Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Вычисление уровня протекания в двумерном случайном потенциале // ФТТ.— 1973.— Т. 15, вып. 5.— С. 1423—1426.

11. Скал Ф. С., Шкловский Б. И., Эфрос А. С. Уровень протекания в трехмерном случайном потенциале // Письма в ЖЭТФ.— 1973.— Т. 17, вып. 9.— С. 522—525.

12. Smith R., Richter A. Modelling thin film growth: Monte-Carlo models of fullerite films // Thin Solid Films.— 1999.— Vol. 343—344, N 1, 2.— P. 1—4.

В номере 6 журнала за 2001 г. на с. 33 **допущена опечатка**.

После формулы (1) следует читать:

T_n и T_p — температуры соответствующих ветвей;

$\alpha_{n,p}$, $\sigma_{n,p}$, $k_{n,p}$ — соответственно коэффициенты термоЭДС, электропроводности и теплопроводности (функции температуры);

$i=I/s$ — плотность тока питания;

s — площадь поперечного сечения ветвей термоэлементов;

N — число каскадов охладителя.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ» В 2001 ГОДУ

	№	Стр.
Техническая политика		
Техническая политика в области навигации и управления движением. *В. Г. Падалко, Ю. Е. Николаенко, А. А. Кошевой, Г. Л. Баранов*	1	3
Развитие высоких технологий – путь к возрождению экономики Украины. *В. Г. Падалко*	3	3
Проектирование. Конструирование		
Использование моделирующего комплекса ДАСИМ при проектировании и производстве РЭА. *О. В. Литвинова, Ю. Г. Майба, Ю. А. Семишин*	1	7
Глобальная минимизация количества межслойных переходов. *О. Б. Полубасов*	2	3
Модели анализа неисправностей цифровых систем на основе FPGA, CPLD. *В. И. Хаханов, Хак Х. М. Джахирул, Масуд М. Д. Мехеди*	2	10
Выбор структуры цифрового фильтра по уровню выходного шума округления. *В. П. Малахов, В. С. Ситников, П. В. Ступень, С. В. Ульяшин*	2	17
БИС электронных пластиковых карт с предварительной оплатой. *В. П. Сидоренко, О. Н. Забродина, В. Н. Сидорчук, Ю. Е. Николаенко*	3	53
Проектирование высоковольтных КМОП ИС ключей и коммутаторов на основе объемного кремния. *В. Г. Вербицкий, В. И. Золотаревский, Ю. Е. Николаенко, Л. И. Самотовка, Е. С. Товмач*	3	56
Выбор конфигурации соединения компонентов электронных схем до этапа размещения. *С. В. Зудин, С. Ю. Лузин, О. Б. Полубасов*	4—5	3
Моделирование разъемных контактов в электрических соединениях электронной аппаратуры. *А. А. Ефименко, В. В. Шаталов*	4—5	7
Методика расчета и исследование усилителя класса **Е**. *В. Г. Крыжановский, А. Н. Рудякова, Д. В. Чернов*	4—5	11
Качество. Надежность		
Новые методы повышения стойкости биполярных микросхем к воздействию проникающей радиации. *А. И. Белоус, С. А. Ефименко, Э. П. Калошкин, И. Н. Карпов, В. Н. Пономарь, А. В. Прибыльский*	2	23
Влияние радиационно-индуцированных эффектов на радиационную стойкость кремниевых МОП-структур. *Э. М. Гаджиев, Я. Ю. Гусейнов, Н. М. Исмайлов, Ф. Д. Касимов*	2	28
Электронная аппаратура: исследования, разработки		
Аппроксимация характеристик макромоделей электронных устройств методом гладкой кривой. *В. М. Николаенко, О. В. Николаенко*	1	13
Магнитоуправляемый выпрямитель переменного тока на основе тиристоров. *Л. Ф. Викулина, П. Ю. Марколенко*	1	16
Фотосчитывание спектральных распределений радиосигналов в акустооптическом анализаторе спектра. *В. В. Данилов*	4—5	16
Средства связи		
Выбор конструкции самонесущего оптического кабеля по растягивающим нагрузкам. *О. В. Бондаренко, Д. В. Иоргачев, Л. Л. Мурадьян*	1	18
Реализация цифровой системы высокочастотной связи по линиям электропередачи. *В. Б. Ткаченко, П. И. Видгольц, Д. К. Меньщиков*	4—5	21
Внутриобъектовые оптические кабели. *Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко, Л. Л. Мурадьян*	4—5	23
Обеспечение тепловых режимов аппаратуры		
Тепловые режимы источников вторичного электропитания с охлаждением на основе тепловых труб. *В. И. Гниличенко, С. П. Ткачев, В. Б. Ткаченко*	1	22
Моделирование и выбор систем обеспечения теплового режима лазерных модулей. *Ю. Е. Николаенко, С. К. Жук, В. М. Батуркин, Д. Н. Олефиренко*	2	31

БИБЛИОГРАФИЯ

Исследование характеристик миниатюрных тепловых труб для охлаждения микроэлектронной аппаратуры. *В. Ю. Кравец* 3 31

Влияние режима работы термоэлектрического устройства на его надежность. *В. Ф. Моисеев, В. П. Зайков* 4—5 30

Моделирование нагрузочных характеристик оптимального каскадного термоэлектрического охладителя. *Ю. Е. Николаенко, Л. Н. Вихор* 6 33

Влияние режимных параметров на теплопередающие характеристики миниатюрных тепловых труб. *Ю. Е. Николаенко, В. Ю. Кравец* 6 36

Технология производства

Влияние радиационной обработки на параметры интегральных преобразователей температуры. *В. А. Мокрицкий, В. А. Завадский* 1 25

Влияние обработки поверхности и нагрева на высоту потенциального барьера контактов к SiC. *О. А. Агеев, А. М. Светличный, Н. А. Ковалев, Р. Н. Разгонов* 2 37

Получение тонких пленок медно-цинковых сплавов методом электрического взрыва в вакууме. *А. Н. Головяшкин, Д. В. Лежнев* 2 42

Особенности выбора трафарета для сборки изделий с поверхностно-монтируемыми компонентами. *М. М. Козюба, Л. Т. Акулова* 2 45

Малоинерционный линейный термопреобразователь сопротивления. *В. В. Брайловский, О. Е. Иларионов* 2 47

Радиационная обработка ИК-фотоприемников на основе CdHgTe. *В. А. Завадский, В. В. Зубарев, В. А. Мокрицкий* 3 4

Обработка монокристаллов Cd–Zn–Te для применения в датчиках γ-излучения. *В. А. Мокрицкий, С. В. Ленков, О. В. Маслов, С. А. Савельев* 3 9

Конструкционные материалы с покрытиями в узлах технологического оборудования. *С. Ф. Дудник, И. И. Залюбовский, А. В. Сагалович, В. В. Сагалович, В. И. Фареник* 3 49

Алгоритм управления для нечеткого регулятора. *Л. П. Вершинина* 4—5 33

Повышение достоверности отбраковки БИС методом понижения питающего напряжения. *А. И. Белоус, В. А. Емельянов, С. А. Ефименко, А. В. Прибыльский* 4—5 35

Особенности получения тонких пленок SiO_2 методом быстрой термической обработки. *А. М. Светличный, О. А. Агеев, Д. А. Шляховой* 4—5 38

Вакуумное напыление тонких пленок органических полупроводников и исследование их структуры. *В. Д. Орлов, В. Г. Удовицкий* 6 9

Особенности автоматизации диодных реакторных систем микротравления. *А. М. Будянский, В. И. Фареник, А. П. Яцков* 6 48

Установка для выращивания малодислокационных монокристаллов GaAs большого диаметра. *Г. П. Ковтун, А. И. Кравченко, А. П. Щербань* 6 52

Компоненты для электронной аппаратуры

Варикап на основе сверхрезкого *p—n*-перехода. *А. Н. Головяшкин, В. А. Соловьев* 1 28

Особенности электрических характеристик n^+–*p*-перехода на основе узкозонных полупроводников. *Л. А. Косяченко, И. М. Раренко, А. В. Марков, С. Э. Остапов* 3 11

Длинноволновые источники ИК-излучения на основе широкозонных полупроводников. *С. С. Болгов* 3 15

Состояние и тенденции развития твердотельных фотопреобразователей солнечной энергии. *Ю. Е. Николаенко, Н. М. Вакив, С. И. Круковский, В. Ю. Ерохов, И. И. Мельник, И. Р. Завербный* 3 21

Кремниевые *p—n*-фотодиоды для ближней ультрафиолетовой области спектра. *Ю. Г. Добровольский, В. В. Рюхтин, А. Б. Шимановский* 4—5 44

Влияние радиационного облучения на характеристики солнечных элементов из поликристаллического кремния. *В. А. Завадский, Б. П. Масенко* 4—5 47

Метод компенсации действия радиации на магнитоуправляемые микросхемы. *Л. Ф. Викулина, Е. Ф. Храмов* 4—5 49

Теоретические аспекты оптимизации металлических токосъемных контактов солнечных элементов. *П. В. Горский, И. М. Раренко, А. Ф. Ляшенко, А. И. Тымчук* 6 30

Однокристальная микро-ЭВМ с аналого-цифровым преобразователем. *В. Г. Вербицкий, Г. П. Липовецкий, П. В. Сивобород* 6 54

Датчики

Датчики ускорений на базе микромеханики и микроэлектроники. *В. С. Голуб* 1 31

Исследование механических напряжений в эпитаксиальных датчиках Холла различной конфигурации. *Ф. Д. Касимов, С. А. Исмайлова* 1 35

Оптоэлектронный люминесцентный газоанализатор. *Е. Б. Плавинский, Н. Б. Копытчук* 1 37

БИБЛИОГРАФИЯ

Датчик углекислого газа на основе пленки поликристаллического кремния. *Ф. Г. Агаев* 2 49

Прецизионный датчик давления с пневмомеханическим резонатором для бортового оборудования ЛА. *Н. Г. Черняк, А. Н. Бондаренко* 3 38

Статические погрешности измерителя углового ускорения и методы их устранения. *В. К. Лопушенко, Н. Г. Черняк, Г. Г. Кильдышов* 3 44

Интегральные микроэлектронные преобразователи для дистанционных измерений. *Я. Ю. Гусейнов* 4—5 51

Датчики приближения и положения на основе индуктивных балансных сенсоров. *О. Н. Негоденко, В. И. Семенцов, Ю. П. Мардамшин* 4—5 53

Построение инерциального датчика для измерения линейных ускорений и угловых скоростей летательного аппарата. *Н. Г. Черняк, Н. А. Мухоед* 6 39

Решение задачи газового демпфирования чувствительных элементов микроэлектронных акселерометров. *Н. Г. Черняк, О. В. Стеценко* 6 43

Емкостный датчик давления для АЭС и нефтехимической промышленности. *Я. И. Лепих, В. К. Лопушенко* 6 47

Материалы электроники

Методика определения параметров структурной и кластерной моделей толстых резистивных пленок. *А. В. Стерхова, П. А. Ушаков, П. Н. Жарков* 1 39

Влагоустойчивость транзисторов в пластмассовых корпусах на основе эпоксиноволачных смол. *Л. П. Ануфриев, А. Ф. Керенцев, В. Л. Ланин* 2 51

Модифицированный фосфид галлия для лазеров и мощных светодиодов. *А. С. Гаркавенко, В. А. Мокрицкий* 2 54

Исследование релаксационных процессов в сегнетокерамике. *В. Ф. Тиллес* 2 56

Получение высокочистых галлия, цинка, кадмия и теллура для микроэлектроники. *Г. П. Ковтун, А. И. Кравченко, А. П. Щербань* 3 6

Применение пленок широкозонного полупроводника $ZnGa_2S_4$ для просветления оптических элементов. *Н. И. Попович, Н. И. Довгошей, И. Э. Качер* 3 19

Создание переключающих элементов с памятью на основе кристаллов CdTe. *А. Байдулаева, А. И. Власенко, А. В. Ломовцев, П. Е. Мозоль* 3 36

Немессбауэровский гамма-лазер на основе прямозонных полупроводниковых соединений. *А. С. Гаркавенко* 4—5 56

Влияние пластической деформации на анизотропию электропроводности трансформаторной стали. *В. В. Усов* 4—5 60

Собственные полупроводники группы $A_2{}^3B_3{}^6$ как перспективные материалы для радиационно стойкой электроники. *С. Л. Королюк, С. С. Королюк, И. М. Раренко, О. Л. Тарко, А. В. Галочкин* 6 3

Кремниевые МДП-структуры с оксидами редкоземельных элементов в качестве диэлектрика. *Ш. Д. Курмашев, И. М. Викулин, С. В. Ленков* 6 6

Токопроводящий клей на основе порошка меди. *Е. А. Каркина, В. Н. Корецкий, С. В. Ленков, Д. К. Огарь* 6 12

Способы прогнозирования параметров стеклокерамики с межфазным слоем. *М. В. Дмитриев* 6 16

Электрофизические характеристики структур Si–*X*–$Ge_{33}As_{12}Se_{55}$ (*X*: Sb, Bi, In, Pb) с различными контактами. *А. Б. Кондрат, Н. И. Довгошей, Я. М. Поляк, Ю. Й. Сидор, Р. М. Повч* 6 20

Варизонные слои на основе твердых растворов CdHgTe для двухполосных ИК-фоторезисторов. *А. И. Власенко, З. К. Власенко, В. А. Гнатюк, А. Б. Смирнов, И. В. Курило, И. А. Рудый, И. И. Ижнин* 6 25

Выставки. Конференции. Симпозиумы

Десятилетие конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". *П. П. Ермолов* 2 59

Угол зрения

Intrinsic semiconductor — как это по-русски? *Е. А. Тихонова, В. Ю. Ткаченко* 6 32

Библиография

Указатель статей, опубликованных в журнале в 2000 г. 1 44

Методическое обеспечение практикума по системе P-CAD 4.5 для начинающих пользователей. *В. В. Сибиряков, В. Е. Трофимов* 6 11

РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРАМ ПО ПОДГОТОВКЕ РУКОПИСИ

1. Рукопись должна отличаться подчеркнуто прикладной направленностью. Если результаты получены в смежных областях знаний, необходимо показать их применимость в области интересов журнала.

2. Название рукописи должно быть конкретным и, в то же время, по возможности кратким.

3. Сопроводите рукопись текстом библиографической карточки на русском и английском языках с аннотацией до 500 печ. знаков. Укажите индекс рукописи по Универсальной десятичной классификации (УДК).

4. Предварите рукопись мини-аннотацией в 12–16 слов.

5. При необходимости разделите рукопись на разделы. Там, где это возможно, желательно выделить выводы (резюме, заключение). Кстати, **проверьте себя** – насколько согласуются выводы рукописи с постановкой задачи, с названием рукописи, с ее аннотацией и мини-аннотацией.

6. Размерность всех величин, используемых в рукописи, должна отвечать современным требованиям, а использованные символы (как и аббревиатуры) должны быть пояснены и продублированы на отдельном листе.

7. При ссылке в тексте на численные значения, формулы и иные **фактические** данные, заимствованные из *монографий*, следует (для удобства поиска) указывать не только сам источник, но и страницу (например [2, с. 18]).

8. Список «Использованные источники» составляется в последовательности, соответствующей порядку ссылок в тексте. Источники описываются на языке оригинала. Принятая в журнале полнота описания источников легко прослеживается по публикациям.

9. В редакции рукопись пройдет доброжелательное (и к Читателю, и к Автору) рецензирование **в следующих аспектах**:

– адресат статьи (категория читателей);

– актуальность темы;

– новизна информации (в сравнении с работами предшественников);

– четкость постановки задачи;

– бесспорность исходных положений;

– убедительность доказательств, в том числе отсылок к использованным источникам;

– правомерность выводов;

– целесообразность (и адекватность тексту) таблиц, иллюстраций;

– строгость терминологии;

– композиция рукописи, в том числе оправданность объема.

К этому нужно быть готовыми.

10. Рукопись и иллюстрации к ней должны быть удобочитаемы.

Фотоиллюстрации необходимо представлять **в оригинале**. При подготовке цветных иллюстраций желательно фотографировать объекты на однотонном фоне. Размеры фотографии не должны превышать формат 210×297 мм.

11. Рукопись может сопровождаться рекомендацией научно-технического (ученого) совета предприятия, на котором она подготовлена. Это будет свидетельствовать о ее предварительной апробации.

12. Предприятие может воспользоваться публикацией рукописи для рекламы своих возможностей. Тогда рукопись необходимо сопроводить соответствующим рекламным текстом.

13. К рукописи приложите запись статьи на дискете с текстом, подготовленным в текстовом редакторе Microsoft Word. Текст статьи набирается размером 12 без переносов с интервалом не менее 1,5. Все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом. Правый край текста выравнивать не обязательно.

Крайне нежелательно использование редактора Equation **при наборе текста** (он допустим только для набора сложных формул). Если возможностей Word недостаточно, допускается разметка рукописи вручную.

Иллюстрации должны быть представлены **отдельными файлами** в любом из форматов PCX, JPG, TIF, WMF, CDR. Графики и чертежи следует выполнять **в черно-белом (битовом) режиме**.

Электронную версию статьи можно направить по e-mail: **tkea@odessa.net**

14. Приложите к рукописи публикуемые сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень), а также сообщите служебные и домашние адреса с указанием почтового индекса, сведения о должностном положении, e-mail, телефоны, телефаксы для связи, даты рождения.

15. Если есть ощущение, что могут возникнуть вопросы охраны государственной тайны, сопроводите статью экспертным заключением о возможности ее публикации в открытой печати.

К статье «Бортовые радиотехнические средства ближней навигации и инструментальной посадки летательных аппаратов»



Рис. 3. Комплект унифицированного бортового радиооборудования посадки ILS-85 для дальних магистральных самолетов ИЛ-96, ТУ-204, АН-218

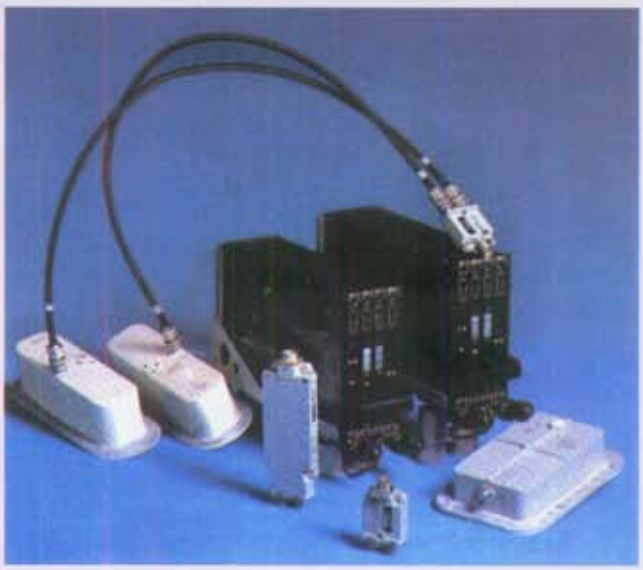


Рис. 4. Комплект унифицированного бортового радиооборудования ближней навигации VOR-85 для дальних и средних магистральных самолетов ИЛ-96, ТУ-204, АН-218, ИЛ-114, Бе-200

В журнале публикуется реклама продукции, услуг, возможностей предприятий и организаций

Полноцветная печать		Черно-белая печать
Обложка:		60 дол. за полосу 40 дол. за ½ полосы
1-я стр.	200 дол.	
2-я стр.	160 дол.	
3-я стр.	200 дол. за полосу 120 дол. за ½ полосы	
4-я стр.	240 дол. за полосу 150 дол. за ½ полосы	
Вклейка	200 дол. за полосу 120 дол. за ½ полосы	
"Визитка" (8×4 см)	25 дол.	



Учредители: Министерство экономики, Одесский горисполком, Одесская облгосадминистрация

Патронат: Российский морской регистр судоходства

Организатор: Выставочный центр "Морские технологии"

При поддержке:

Выставочная федерация Украины

Украинский союз промышленников и предпринимателей

Ассоциация судостроителей Украины

Одесский морской торговый порт

Одесский государственный морской университет

Одесский национальный университет

Юридическая поддержка: фирма "АДС"

Генеральный информационный спонсор: МИ Деньги и технологии

Информационные спонсоры:

Техника молодежи, Техника, Ярмарки & Выставки, Технология, Судоходство, Интеллектуальная собственность, КомпАс, Инвестиция, Химия и жизнь, Инвест Газета, Стандарты и качество, Новый век, Рынок инсталляций, JURA, Транзит

Оргкомитет выставки: переулок Сабанский, 1, офис 2, г. Одесса, 65014, Украина
тел.: +38 (0482) 22-63-19, 21-05-92; факс: +38 (0482) 25-09-66; E-mail: exhibit2@sudohodstvo.com

ISSN 0130-6243 ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ. № 1 2002 г. ИНДЕКС 71141